



**TUGAS AKHIR - TM 145502**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI  
TEMPERATUR TERHADAP EFISIENSI OVEN  
UNTUK PENGERINGAN DAUN MENGKUDU**

**FAISAL RAHMAN ADI  
NRP. 2112 030 060**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Joko Sarsetiyanto, MT  
19610602 198701 1 001**

**PROGRAM STUDI D3 TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**



**FINAL PROJECT - TM 145502**

**EXPERIMENTAL STUDY OF TEMPERATURE  
VARIATION'S INFLUENCE TO THE OVEN'S  
EFFICIENCY FOR *MORINDA CITRIFOLIA*  
LEAVES DRYING PROCESS**

**FAISAL RAHMAN ADI  
NRP. 2112 030 060**

**Counselor Lecturer  
Ir. Joko Sarsetiyanto, MT  
19610602 198701 1 001**

**DIPLOMA III MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT  
Industrial Technology Faculty  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI  
TEMPERATUR TERHADAP EFISIENSI OVEN UNTUK  
PENGERINGAN DAUN MENGKUDU**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Ahli Madya

Pada

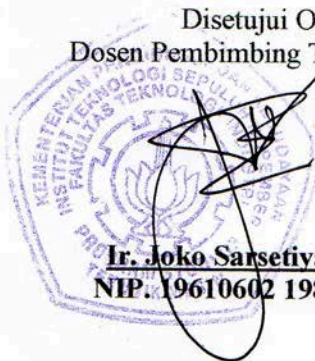
Bidang Studi Konversi Energi  
Program Studi D3 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**FAISAL RAHMAN ADI**

Nrp. 2112 030 060

Disetujui Oleh,  
Dosen Pembimbing Tugas Akhir :



**Ir. Joko Sarsetivanto, MT**  
**NIP. 19610602 198701 1 001**

**SURABAYA, JULI 2015**

# **STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI TEMPERATUR TERHADAP EFISIENSI OVEN UNTUK PENGERINGAN DAUN MENGKUDU**

**Nama Mahasiswa** : Faisal Rahman Adi  
**NRP** : 2112 030 060  
**Jurusan** : D3 Teknik Mesin FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Joko Sarsetiyanto, MT.

## **Abstrak**

*Pengeringan makanan adalah salah satu teknik dalam proses produksi makanan tak berbahan pengawet kimia. Majunya teknologi membuat pengeringan ini tak lagi menggunakan cara konvensional yakni dengan cara mengeringkan dengan bantuan sinar matahari. Perkembangan teknologi menyebabkan munculnya alat - alat untuk melakukan proses pengeringan ini. Oven pengering yang telah ada memerlukan pengujian lanjut agar ditemukan temperatur optimal untuk proses pengeringan daun mengkudu.*

*Dari proses pengujian pengeringan daun mengkudu menggunakan oven temperatur terefisien dalam adalah sekitar 75 ° C, karena pada pengujian temperatur tersebut menunjukkan hasil kerugian panasnya keseluruhannya ( $Q_{loss\ total}$ ) 661,673 W, kalor penguapan ( $Q_{evap}$ ) daun mengkudu yang terbesar yaitu 288,466 W, waktu pengeringan keseluruhan yang tercepat yaitu 115 menit, efisiensi termis ( $\eta_{termis}$ ) yang tertinggi yaitu sebesar 13,521 %, dan pengurangan bobot (rendamen) 22,283 %.*

**Kata Kunci : Pengeringan, Daun Mengkudu, Temperatur, Oven**

# EXPERIMENTAL STUDY OF TEMPERATURE VARIATION'S INFLUENCE TO THE OVEN'S EFFICIENCY FOR *MORINDA CITRIFOLIA* LEAVES DRYING PROCESS

Name : Faisal Rahman Adi  
NRP : 2112 030 060  
Departement : D3-Mechanical Engineering,  
Industrial Technology Faculty, ITS  
Counselor Lecturer : Ir. Joko Sarsetiyanto, MT.

## Abstrack

*Food drying process is the one of technique in the process of food production without chemistry preservative materials. The development of technologies make these drying process without conventional ways nowday, sun rays is the kind of conventional ways. The development of technologies make the rising of new drying process tools. The own drying oven needs to next experiment to finds optimum themperature for Morinda citrifolia leaves drying process.*

*From this experimental proccess of Morinda citrifolia leaves that used Oven the efficiencies themperature is around 75 ° C, because in that experiments have the result of the heat loss total ( $Q_{losstotal}$ ) 661,673 W, the biggest heat evaporation ( $Q_{evap}$ ) of Morinda citrifolia leaves is 288,466 W, the fastest of drying time is 115 minute, the highest thermal efficiency ( $\eta_{thermal}$ ) is 13,521 %, and the decrease of weight (rendamen) is 22,283 %.*

**Keywords :** *Drying, Morinda citrifolia leaves, Themperature, Oven*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, petunjuk dan rizkinya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan judul **“Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Temperatur Terhadap Efisiensi Oven Untuk Pengeringan Daun Mengkudu”**. Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Melalui kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada pihak - pihak yang telah banyak membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini antara lain:

1. Bapak Ir. Joko Sarsetiyanto, MT selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak memberikan ilmu – ilmu yang bermanfaat, saran, masukan, dan membimbing penulis hingga terselesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Budi Luwar Sanyoto ,MT selaku dosen wali yang telah membimbing penulis selama masa perkuliahan di program studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
3. Ibu Liza Rusdiyana, MT selaku Koordinator Tugas Akhir program studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
4. Bapak Ir. Suhariyanto, MT selaku koordinator program studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
5. Bapak Ir. Denny M.E. Soedjono, MT, Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT, dan Bapak Dedy Zulhidayat Noor, ST, MT, PhD selaku dari dosen penguji yang telah banyak memberi saran dan masukan dalam masa sidang Tugas Akhir penulis.
6. Bapak Ahmad Yani Adi dan Ibu Siti Rachmah selaku orang tua penulis yang senantiasa memberikan do’a restu, kasih sayang dan dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Raka Nurtiara Sekarrini dan Suci Ramadhani Putri sebagai partner dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Saudara – saudara D3 Mesin ITS angkatan 2012 yang telah berjuang bersama selama masa perkuliahan di D3 Teknik Mesin FTI-ITS.

9. Seluruh keluarga besar D3 Mesin ITS yang telah menemani selama masa perkuliahan ini.
10. Seluruh teman – teman KM ITS dalam lingkup apa pun di berbagai jurusan di ITS yang telah menemani dan mendukung penulis selama masa perkuliahan.
11. Seluruh dosen dan karyawan D3 Teknik Mesin FTI-ITS yang telah memberikan ilmunya di masa perkuliahan ini.
12. Semua pihak yang belum penulis sebutkan yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangannya, oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Akhir kata, penyusun berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Surabaya, 18 Juni 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

Halaman Judul I. ....	i
Halaman Judul II. ....	iii
Lembar Pengesahan.....	v
Abstrak. ....	vii
Abstrack. ....	ix
Kata Pengantar. ....	xi
Daftar Isi. ....	xiii
Daftar Gambar.....	xvii
Daftar Tabel. ....	xix

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang. ....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Metode Penelitian.....	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	4

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perpindahan Panas.....	7
2.1.1 Perpindahan Panas Konduksi.....	8
2.1.2 Perpindahan Panas Konveksi. ....	13
2.1.3 Perpindahan Panas Radiasi. ....	20
2.1.4 Perpindahan Panas Gabungan.....	22
2.2 Aliran Laminer dan Tubulen. ....	23
2.2 Kekekalan Energi. ....	25
2.2.1 Kekekalan Energi Volume Atur.....	25
2.2.2 Keseimbangan Energi Permukaan. ....	26
2.4 Perpindahan Panas Kalor Sensibel dan Kalor Laten.....	27
2.3.1 Kalor Sensibel.....	27
2.3.2 Kalor Laten.....	27
2.5 Proses Pengeringan. ....	29
2.6 Daun Mengkudu.....	31



### BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Tugas akhir.....	33
3.2 Persiapan Awal.....	34
3.3 Prosedur Percobaan. ....	34
3.3.1 Pengujian. ....	34
3.3.2 Peralatan Ukur untuk Pengujian.....	35
3.4 Tata Cara Pengujian. ....	39
3.4.1 Tahap Persiapan.....	39
3.4.2 Tahap Pengambilan Data. ....	40
3.4.3 Tahap Setelah Pengujian.....	41
3.4.4 Tahap Pengolahan Data. ....	41
3.5 Diagram Alir Pengujian.....	42
3.6 Diagram Perhitungan Tugas Akhir. ....	43

### BAB IV ANALISIS PERHITUNGAN

4.1 Neraca Kalor Pada Proses Pengeringan Dengan Oven. ....	45
4.2 Data Spesifikasi Alat .....	46
4.3 Perhitungan Laju Perpindahan Panas yang Dibutuhkan di Ruang Oven.....	47
4.3.1 Perhitungan $Q_{in}$ (W) yang Digunakan dalam Proses Pengeringan.....	47
4.3.2 Perhitungan $Q_{loss}$ (W) Pada Jenis Material yang Digunakan.....	48
4.3.3 Perhitungan $Q_{infiltrasi}$ (W) yang masuk ke sistem.....	63
4.3.4 Perhitungan $Q_{out}$ (W) yang keluar melalui cerobong.....	64
4.3.4 Perhitungan Laju Perpindahan Panas Untuk Menghilangkan Kadar Air Dalam Daun Mengkudu (Qevap).....	65
4.3.6 Perhitungan $Q_{loss}$ (W) pada ruang bakar oven.....	66
4.3.7 Perhitungan $Q_{loss total}$ ( W ) pada oven.....	69
4.3.8 Perhitungan Efisiensi Termis .....	70
4.3.9 Rendamen .....	70
4.4 Grafik Pengujian .....	71
4.5 Biaya Operasi .....	74

## BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan. .... 75

5.2 Saran. .... 76

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Perhitungan $Q_{\text{evaporasi}}$ dengan Variasi Temperatur. ....	65
Tabel 4.2 Data Perhitungan $Q_{\text{loss total}}$ dengan Variasi Temperatur. ....	69
Tabel 4.3 Data Perhitungan Efisiensi Termis dengan Variasi Temperatur .....	70
Tabel 4.4 Data Perhitungan Rendemen dengan Variasi Temperatur. ....	71
Tabel 4.5 Data Waktu Pengujian dengan Variasi Temperatur.....	71
Tabel 4.6 Data Biaya Operasi Pengujian dengan Variasi Temperatur. ....	73

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bentuk Umum Perpindahan Panas konduksi, konveksi dan Radiasi .....	7
Gambar 2.2 Perpindahan Panas konduksi dengan difusi energi akibat aktivitas molekuler. ....	8
Gambar 2.3 Konduksi satu dimensi steady state.....	10
Gambar 2.4 Perpindahan Panas pada Dinding Datar. ....	10
Gambar 2.5 Distribusi kecepatan dan distribusi temperatur. .	14
Gambar 2.6 Perpindahan Panas Konveksi .....	17
Gambar 2.7 Pertukaran radiasi antara permukaan dengan sekelilingnya .....	21
Gambar 2.8 Perpindaan panas antara konduksi dengan konveksi. ....	22
Gambar 2.9 Pengembangan lapisan batas kecepatan pada plat datar .....	24
Gambar 2.10 Kekekalan energi volume atur .....	26
Gambar 2.11 Kekekalan energi permukaan sebuah medi.....	26
Gambar 2.12 Energi yang dibutuhkan untuk merubah temperatur dan fase air. ....	28
Gambar 2.13 Daun Mengkudu .....	31
Gambar 3.1 Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir.....	33
Gambar 3.2 Ruang Pengapian. ....	35
Gambar 3.3 Termometer. ....	35
Gambar 3.4 Anemometer. ....	36
Gambar 3.5 Timbangan Digital .....	37
Gambar 3.6 Hygrometer. ....	37
Gambar 3.7 Thachometer. ....	38
Gambar 3.8 Pematik Api. ....	39
Gambar 3.9 Penataan Daun Mengkudu Pada Rak. ....	40
Gambar 3.10 Flowchart Pengujian Daun Mengkudu.....	42
Gambar 3.11 Flowchart Perhitungan Tugas Akhir. ....	44
Gambar 4.1 Neraca Kalor Pada Proses Pengeringan Dengan Oven. ....	45
Gambar 4.2 Grafik Pengujian Fungsi Temperatur. ....	72
Gambar 4.3 Grafik Pengujian Fungsi Temperatur dengan Exponensial.....	73

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dewasa ini teknologi berkembang pesat berupa alat – alat yang diciptakan dengan menggunakan teknik baru dalam penyelesaian masalahnya. Dengan adanya alat – alat tersebut tentu mempermudah dalam hal tertentu dalam pekerjaan manusia. Dalam hal ini teknologi yang baru ditemukan memiliki kerja makin spesifik di bidang pekerjaan tertentu.

Begitu pula dalam bidang pengolahan makanan, banyak teknologi yang digunakan dalam bidang ini. Pengembangan – pengembangan yang terjadi dalam bidang ini ditujukan untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas produk dan juga untuk mempermudah proses – proses produksi. Dalam alur produksi makanan tradisional yang tak berbahan pengawet kimia atau pabrikan akan mengalami proses pengeringan terlebih dahulu.

Proses pengeringan ini menjadi salah satu teknik dalam proses produksi makanan tak berbahan pengawet kimia. Banyak cara tradisional yang dipakai oleh masyarakat untuk mengeringkan makanan, salah satunya dengan menjemur dibawah terik matahari. Namun tanpa kita sadari secara seksama bahwa keadaan lingkungan yang tak menentu dengan keadaan matahari yang tak sepanjang tahun pun tentu menghambat proses pengeringan secara tradisional ini. Dengan kebutuhan jenis makanan dan beberapa jenis obat – obatan sepanjang tahun ini, beralih ke metode – metode modern adalah suatu pilihan yang menjanjikan.

Dalam teknologi pengeringan makanan oven adalah alat yang paling menjanjikan, namun tentunya tiap oven memiliki teknik dan kemampuan pengeringannya tersendiri. Salah satu keunggulan terbaik oven adalah penggunaan alat ini tidak bergantung waktu dan tempat, tentunya alat ini adalah opsi terbaik dalam bidang pengeringan makanan yang sesuai dengan kebutuhan masyarakat. Namun oven yang ada tentunya memiliki titik kemampuan teroptimal dalam mengeringkan produk.



Meningkatnya produksi olahan mengkudu tidak lepas dari banyak penelitian tentang kandungan atau manfaat dari tanaman ini. Namun sejauh ini yang banyak diolah menjadi makanan adalah buahnya, padahal banyak kandungan dari daun mengkudu diantaranya protein, fosfor, zat besi, kalsium, flavonoid, iridoid serta antrakuinon, alkaloid yang berperan sebagai antibakteri. Salah satu cara untuk meningkatkan nilai jual daun mengkudu dengan memanfaatkannya sebagai minuman dari daun mengkudu yang telah dikeringkan.

Pada proses pengeringan daun mengkudu khususnya secara konvensional memerlukan waktu yang cukup lama, dan sinar matahari pun tak selalu ada sepanjang tahun. Adanya oven dalam pengeringan daun mengkudu merupakan suatu teknologi yang sangat bermanfaat guna menanggulangi kekurangan dari cara konvensional. Dalam hal ini waktu dan temperatur pada saat menggunakan oven harus diatur sedemikian rupa agar hasil yang di dapatkan sama dengan cara konvensional dan efisiensi dari oven pengering dapat maksimal dalam proses pengeringan daun mengkudu.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penulis berusaha mengemukakan beberapa rumusan masalah yang dihadapi dalam bidang teknologi pengeringan bahan daun mengkudu dengan menggunakan oven yaitu :

1. Bagaimana proses pengeringan daun mengkudu dengan menggunakan oven?
2. Berapa besar pengaruh temperatur daun mengkudu yang dikeringkan terhadap waktu pengeringan?
3. Berapa temperatur optimal dalam proses pengeringan daun mengkudu dengan menggunakan oven?
4. Berapa efisiensi termis yang dihasilkan oleh oven berdasarkan variasi temperatur?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Dalam penelitian ini penulis memiliki maksud dan tujuan, yaitu untuk menganalisis perpindahan panas pada oven pengering yang telah dibuat, antara lain :

- Menghitung panas yang masuk ke pengering
- Menghitung kerugian panas yang terjadi pada oven pengering
- Menghitung perhitungan kalor evaporativ
- Menghitung efisiensi termis
- Menentukan temperatur optimal dalam pengeringan menggunakan oven

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Dalam penelitian ini, akan didapat beberapa manfaat yaitu:

1. Mengetahui alur dan perhitungan dalam proses pengeringan daun mengkudu.
2. Menentukan temperatur optimal dalam pengeringan daun mengkudu.
3. Mengetahui efisiensi termis oven dalam proses pengeringan daun mengkudu.

### **1.5 Batasan Masalah**

Dalam penelitian ini agar pembahasan tidak terlalu meluas, perlu adanya suatu batasan masalah dalam penelitian ini. Berikut merupakan batasan masalahnya :

1. Dalam perhitungan diasumsikan :
  - Kondisi steady state.
  - Kondisi aliran uniform.
  - Temperatur pada permukaan plat dianggap merata.
  - Efek radiasi diabaikan.
  - Temperatur udara diluar pengering dianggap konstan.
2. Tidak membahas bukaan pada cerobong.
3. Tidak membahas serta mengubah laluan dalam oven.
4. Penulis hanya membahas proses perpindahan panas dan perpindahan massa secara umum.

5. Tidak membahas rancangan konstruksi alat dan kontrol.
6. Pengujian dilakukan dengan variasi temperatur pada proses pengujian serta perhitungan pengeringan daun mengkudu menggunakan oven.
7. Perhitungan di dalam oven menggunakan metode pendekatan aliran eksternal dan di luar oven menggunakan free convection.

## **1.6 Metode Penelitian**

Metode penelitian adalah suatu langkah – langkah umum yang digunakan penulis untuk mencapai tujuan dari penelitian pada Tugas Akhir ini, berikut merupakan bentuk dari metode penelitian yang penulis buat:

### **1. Studi Literatur**

Untuk pengenalan dan pembelajaran dasar-dasar teori yang mengacu pada tema dari tugas akhir ini. Diperoleh dengan mencari referensi pada buku, makalah, jurnal, dan buku tugas akhir lainnya yang berhubungan dengan perpindahan panas dengan tujuan mendapatkan dasaran untuk memulai analisis dan perhitungan.

### **2. Penentuan Bahan**

Dalam tahapan ini studi literatur juga dilakukan melalui internet, buku, dan lingkungan sekitar. Juga mengenali manfaat dan tujuan dalam penggunaan bahan tersebut, serta cara dan ketersediaannya. Melalui berbagai pertimbangan akhirnya diperoleh bahan daun mengkudu.

### **3. Studi Laboratorium**

Melakukan pengujian di Workshop D3 Teknik Mesin dengan perlengkapan mesin dan alat ukur yang telah tersedia untuk mendapatkan dan mengolah data-data yang diperlukan untuk mencapai tujuan penelitian.

### **4. Analisis Data**

Dari hasil pengujian atau studi laboratorium akan menghasilkan data-data aktual yang kemudian dianalisis dan dilakukan perhitungan untuk mengetahui variabel - variabel dari oven yang hasil dari perhitungan berupa  $Q_{in}$ ,  $Q_{loss}$  dan  $Q_{out}$  dan lain - lain.

## **1.7 Sistematika Penulisan**

Dalam tugas akhir ini agar alur pemikiran penulis dapat diikuti dan dipahami secara utuh maka disusunlah suatu kerangka penulisan yang bersifat umum, yaitu sebagai berikut :

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Berisi tentang latar belakang permasalahan penyusunan , perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

### **BAB II : DASAR TEORI**

Berisi teori-teori yang menunjang pelaksanaan penelitian dan perhitungan yang digunakan sebagai dasaran dalam analisis serta koreksi data yang telah diperoleh guna mencapai tujuan penelitian.

### **BAB III : METODOLOGI**

Berisi tentang metode dan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam proses penelitian serta alat-alat yang dipergunakan dalam pelaksanaan pengujian baik alat utama maupun alat-alat penunjang dan juga berisi tentang prosedur-prosedur pengujian.

### **BAB IV : ANALISIS PERHITUNGAN**

Berisi data-data hasil pengujian yang telah didapatkan dari proses penelitian dan proses perhitungan sampai menemukan hal apa yang menjadi tujuan dalam penelitian.

### **BAB V : KESIMPULAN**

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini akan didapatkan suatu kesimpulan yang menyatakan pernyataan akhir dari uraian dan penjelasan sebelumnya dan berkaitan pada tujuan penelitian.

### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

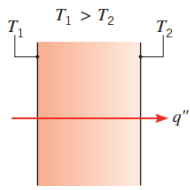
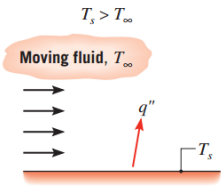
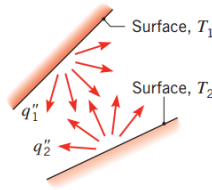
## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Perpindahan Panas

Pada studi sebelumnya kita mengetahui bahwa energi dapat berpindah karena adanya interaksi dari sebuah sistem dengan lingkungannya. Perpindahan panas sendiri memiliki definisi bahwa perpindahan energi panas yang terjadi diakibatkan oleh adanya suatu perbedaan temperatur antara dua atau beberapa media. Perpindahan panas terjadi melalui media yang memiliki temperatur lebih tinggi menuju ke media yang bertemperatur lebih rendah. Menurut mekanisme terjadinya dan medium perpindahan panas tersebut, di bagi menjadi tiga macam, yaitu :

1. Konduksi
2. Konveksi
3. Radiasi

Pada gambar 2.1 bentuk umum dari perpindahan panas konduksi, konveksi, dan radiasi, merupakan suatu gambaran umum dari bentuk perpindahan panas. Perbedaan mendasar dari ketiganya adalah mekanisme terjadinya perpindahan itu sendiri, sumber panas dan media penerima berkaitan dengan tinggi rendahnya masing – masing temperatur.

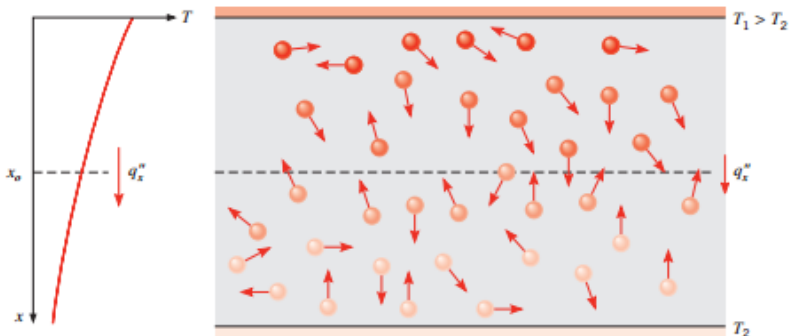
Conduction through a solid or a stationary fluid	Convection from a surface to a moving fluid	Net radiation heat exchange between two surfaces
		

**Gambar 2.1** Bentuk umum dari Perpindahan panas konduksi, konveksi dan radiasi

*(Sumber: F.P Incropera; 1981, Fundamental of Heat and Mass Transfer, 7th Edition)*

### 2.1.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah perpindahan panas yang bergantung pada aktivitas pada level atom dan molekuler. Konduksi digambarkan sebagai perpindahan panas yang terjadi dari partikel yang berenergi lebih tinggi ke partikel yang berenergi lebih rendah dari suatu media sebagai akibat dari interaksi antar partikel tersebut. Gambar 2.2 memperlihatkan mekanisme tersebut. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa partikel-partikel bergerak secara acak sehingga memungkinkan satu partikel bersinggungan dengan partikel yang lain. Sehingga apabila yang bersinggungan tersebut partikel yang berbeda tingkat energinya maka perpindahan panas pasti terjadi. Jika  $T_1 > T_2$  maka akan terjadi perpindahan panas ke arah sumbu  $x$  positif. Karena perpindahan panas konduksi terjadi akibat gerakan acak partikel maka juga disebut **diffusi energi**.



**Gambar 2.2** Perpindahan Panas konduksi dengan diffusi energi akibat aktivitas molekuler

(Sumber: F.P Incropera; 1981, *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, 7th Edition)

Untuk menghitung laju perpindahan diperlukan persamaan yang sesuai dengan mode dari perpindahan panas tersebut. Persamaan laju perpindahan panas konduksi satu dimensi pada dinding datar dikenal dengan persamaan (hukum)

**Fourier.** Pada gambar 1.3 jika  $T_1 > T_2$  maka ada distribusi temperatur ke arah sumbu x  $T(x)$ , persamaan laju perpindahan panas adalah:

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx}$$

$$q_x = -k \frac{dT}{dx} \text{ dimana : } q = \text{laju perpindahan panas (W)}$$

Keterangan :

$q_x''$  : fluks panas ( $W/m^2$ ) adalah laju perpindahan panas ke arah sumbu x positif per unit kuasan yang tegak lurus arah perpindahan panas.

$\frac{dT}{dx}$  : gradient temperatur

$k$  : konduktivitas panas ( $W/m^\circ K$ ) adalah karakteristik individu material dinding

Tanda minus adalah konsekuensi bahwa panas berpindah dari lokasi yang bertemperatur tinggi ke yang lebih rendah. Jika distribusi temperatur linier maka:

$$q''_{cond} = -k \frac{\Delta T}{L}$$

Dimana:

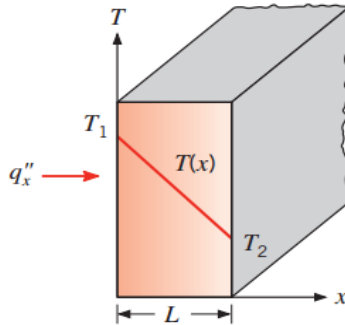
$q''_{cond}$  = fluks perpindahan panas konduksi ( $W/m^2$ )

$\Delta T$  = perbedaan temperatur (K)

$k$  = konduktivitas thermal ( $W/m.^\circ K$ )

$L$  = jarak (m)





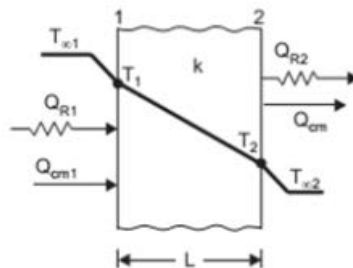
**Gambar 2.3** Konduksi satu dimensi steady state

(Sumber: F.P Incropera; 1981, *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, 7th Edition)

Dalam beberapa hal proses perpindahan panas secara konduksi bisa terjadi pada bentuk:

- Dinding Datar

Konduksi satu dimensi pada dinding datar, distribusi temperatur hanya ke arah satu sumbu saja misalnya sumbu x, sehingga perpindahan panas hanya terjadi ke arah sumbu x saja.



**Gambar 2.4** Perpindahan Panas pada Dinding Datar

(Sumber: [https://taufiqurrokhman.files.wordpress.com/2014/10/102114\\_0905\\_modekombina1.png?w=593](https://taufiqurrokhman.files.wordpress.com/2014/10/102114_0905_modekombina1.png?w=593))

Pada gambar diatas terlihat panas berpindah secara konveksi dari udara di bagian dalam ke dinding dalam, kemudian dilanjutkan dengan konduksi dari dinding dalam ke dinding luar, lalu diteruskan lagi dengan konveksi dari dinding luar ke udara luar.

- Distribusi Temperatur

Distribusi temperatur pada dinding dapat diperoleh dengan menyelesaikan persamaan difusi panas berikut ini.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{dT}{dx} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{dT}{dy} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{dT}{dz} \right) + q''$$

Untuk konduksi satu dimensi kearah sumbu x dan tanpa ada pembangkitan panas maka:

$$\frac{d}{dx} \left( k \frac{dT}{dx} \right) = 0$$

Jika konduktivitas termal dinding dianggap konstan, lalu diintegrasikan dua kali maka didapat solusi:

$$T(x) = C_1 x + C_2$$

Konstanta C tersebut dicari dengan kondisi batas berikut ini:

$$T(x = 0) = T_1 \text{ dan } T(x = L) = T_2$$

Jadi :  $T_1 = C_2$  dan  $T_2 = C_1 L + C_2$  atau  $T_2 = C_1 L + T_1$  sehingga diperoleh :

$$C_1 = \frac{T_2 - T_1}{L}$$

Substitusi  $C_1$  dan  $C_2$  ke persamaan 1 dan 2 didapatkan :

$$T(x) = (T_2 - T_1) \frac{x}{L} + T_1$$

Fourier :

Untuk menghitung laju perpindahan panas digunakan hukum

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} = -\frac{kA}{L} (T_2 - T_1)$$

- Hambatan Termal

Untuk kasus perpindahan panas seperti tersebut diatas peristiwa difusi panas dianalogikan dengan aliran arus listrik dan hambatan listrik dianalogikan dengan hambatan perpindahan panas, serta beda potensial dianalogikan dengan beda temperatur.

$$R_{kond} = \frac{\Delta T}{q} = \frac{L}{kA}$$

Sebaliknya laju perpindahan panas dapat ditulis :

$$q_{kond} = \frac{\Delta T}{R_{kond}} = \frac{(T_2 - T_1)}{R_{kond}}$$

$R_{kond}$  disebut hambatan perpindahan panas konduksi. Analisis yang sama jika diterapkan pada kasus konveksi, maka didapat hambatan perpindahan panas konveksi  $R_{konv}$  :

$$q = hA(T_s - T_\infty)$$

$$R_{konv} = \frac{\Delta T}{q} = \frac{1}{hA}$$

Dan laju perpindahan panas konveksi ditulis :

$$q_{konv} = \frac{\Delta T}{R_{konv}} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{konv}}$$

Dalam suatu rangkaian hambatan listrik arus yang mengalir di tiap-tiap hambatan sama, dan analoginya laju perpindahan panas pada tiap-tiap hambatan perpindahan panas juga sama, maka:

$$q_x = \frac{(T_{\infty 1} - T_1)}{\frac{1}{h_{\infty 1}}} = \frac{(T_2 - T_1)}{\frac{L}{kA}} = \frac{(T_2 - T_{\infty 2})}{\frac{1}{h_{\infty 1}}}$$

Dan juga dapat ditulis dalam bentuk beda temperatur total:

$$q_x = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{R_{tot}} = \frac{\Delta T}{R_{tot}}, \text{ dimana :}$$

$$R_{tot} = \frac{1}{h_{\infty 1}A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_{\infty 2}A}$$

$R_{tot}$  disebut hambatan perpindahan panas keseluruhan (overall heat transfer resistant)

Persamaan 19) dapat ditulis dalam bentuk lain yaitu :

$$q_x = UA\Delta T$$

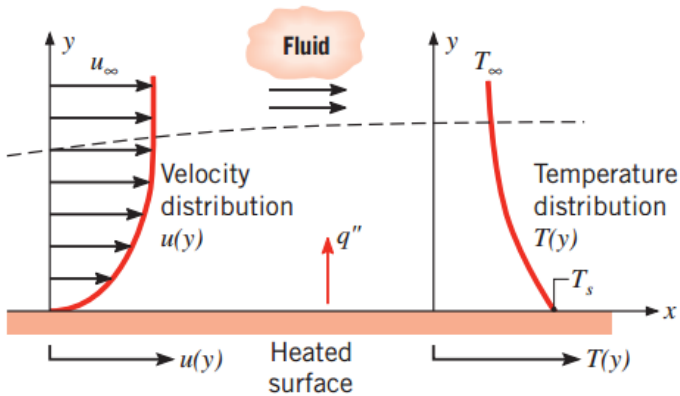
$$UA = \frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{\frac{1}{h_{\infty 1}A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_{\infty 2}A}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{\infty 1}} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_{\infty 2}}}$$

U disebut koefisien perpindahan panas keseluruhan.

### 2.1.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi didukung oleh gerakan acak molekuler dan gerakan makroskopik dari fluida diantara permukaan dan lapisan batas. Kontribusi dari gerak acak molekuler (diffusi) biasanya lebih dominan di daerah dekat dengan permukaan padat dimana pada daerah tersebut kecepatan aliran makroskopiknya nol. Jadi pada daerah tersebut ( $y=0$ ) panas dipindahkan melalui mekanisme gerak acak molekuler. Kontribusi dari gerakan makroskopik fluida, dimulai pada daerah dimana sudah terjadi pertumbuhan lapisan batas, yang artinya kecepatan aliran fluida (kearah sumbu x) meningkat sedikit lebih besar dari nol.



**Gambar 2.5** Distribusi kecepatan dan distribusi temperatur  
(Sumber: F.P Incropera; 1981, *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, 7th Edition)

Laju perpindahan panas konveksi dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$q''_{\text{konveksi}} = h(T_s - T_{\infty})$$

Dimana:

$q''_{\text{conv}}$  = fluks perpindahan panas konveksi ( $\text{W/m}^2$ )

$h$  = koefisien konveksi (K)

$T_s$  = temperatur permukaan (K)

$T_{\infty}$  = temperatur fluida (K)

Perpindahan panas konveksi juga dikategorikan berdasarkan penyebab terjadinya aliran fluida. Jika aliran fluida yang terjadi disebabkan oleh faktor eksternal seperti: pompa, fan/blower atau juga angin pada udara atmosfer maka perpindahan panas konveksi yang terjadi disebut konveksi paksa. (forced convection). Jika aliran fluida dihasilkan oleh tarikan gaya buoyancy yang dihasilkan oleh adanya variasi massa jenis fluida, (variasi massa jenis dihasilkan oleh adanya perbedaan temperatur antara satu lokasi dengan lokasi yang lain dalam satu wadah) maka disebut konveksi bebas atau konveksi alam.

Ditinjau dari gerakan fluidanya perpindahan panas konveksi secara umum dibedakan menjadi dua yaitu :

a. Konveksi Paksa

Disebut konveksi paksa (forced convection) apabila aliran yang terjadi ditimbulkan oleh beberapa peralatan bantu seperti blower, pompa, kompresor, dan lain-lain.

b. Konveksi alamiah atau konveksi bebas

Konveksi alamiah (natural convection) adalah aliran fluida yang terjadi semata-mata karena adanya perbedaan massa jenis fluida yang disebabkan oleh perbedaan temperatur. Korelasi konveksi alamiah atau konveksi bebas ada dua yaitu :

- Korelasi Plat Vertical

Apabila plat itu dipanaskan, terbentuklah suatu lapisan batas konveksi bebas. Pada dinding kecepatan adalah nol, karena terdapat kondisi tanpa gelincir (no slip), kecepatan itu bertambah terus sampai mencapai nilai maksimum, dan kemudian menurun lagi hingga nol pada tepi lapisan batas, karena kondisi arus bebas. Perkembangan awal lapisan batas adalah laminar, tetapi pada sifat-sifat fluida dan beda suhu antara dinding dan lingkungan, terbentuklah pusaran-pusaran dari transisi ke lapisan turbulen.

Pada sistem konveksi bebas dapat dijumpai bilangan tak berdimensi yang disebut bilangan Grashof (Gr).

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2}$$

Dan *Rayleigh Number* ( $Ra_L$ )

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$$

Dimana :

Pr = Bilangan Prandtl

$g$  = Percepatan gravitasi, ( $\frac{m}{s^2}$ )

L = Panjang karakteristik, (m)

$\nu$  = Viskositas Kinematik, ( $\frac{m^2}{s}$ )

$\beta$  = Koefisien Ekspansi Volume ( $\frac{1}{T_f}$ ), ( $K^{-1}$ )

$\alpha$  = Difusivitas Termal, ( $\frac{m^2}{s}$ )

Dimana semua properties dievaluasi pada temperatur film (Tf). Untuk menganalisa konveksi bebas pada plat datar harus ditentukan dulu harga koefisien perpindahan panas konveksi dan *Nusselt Number*.

- Untuk aliran laminar :  $10^{-1} < Ra_L < 10^9$

$$\overline{Nu}_L = 0,68 + \frac{0,67 Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(0,492/Pr\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}}$$

- Untuk aliran turbulen :  $10^{-1} < Ra_L < 10^{12}$

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(0,492/Pr\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

Sehingga :

$$h = \frac{\overline{Nu}_L}{L}$$

Dimana :

$h$  = Koefisien perpindahan panas konveksi ( $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ )

$\overline{Nu}_L$  = *Nusselt Number*

$k$  = konduktifitas termal, ( $\frac{W}{m \cdot K}$ )

$L$  = Tinggi Dinding, (m)

- Korelasi pada Plat Horizontal  
Nusselt Number rata-rata untuk konveksi bebas tergantung pada apakah permukaan plat panas menghadap ke atas (*hot surface facing up*) atau menghadap ke bawah

(*hot surface facing down*) dan apakah permukaan plat lebih panas atau lebih dingin daripada fluida di sekitarnya.

- Untuk plat horizontal dengan permukaan panas menghadap ke atas (*hot surface facing up*)

$$1. \overline{Nu}_L = 0,54 Ra_L^{\frac{1}{4}}, (10^4 \leq Ra_L \leq 10^7)$$

$$2. \overline{Nu}_L = 0,15 Ra_L^{\frac{1}{3}}, (10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11})$$

- Untuk plat horizontal dengan permukaan panas menghadap ke bawah (*hot surface facing down*)

$$\bullet \quad \overline{Nu}_L = 0,27 Ra_L^{\frac{1}{4}}, (10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10})$$

Sehingga :

$$h = \frac{\overline{Nu}_L k}{L}$$

Dimana :

$$h = \text{Koefisien perpindahan panas konveksi, } \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$$

$$\overline{Nu}_L = \text{Nusselt Number}$$

$$k = \text{Konduktivitas Termal, } \left( \frac{W}{m \cdot K} \right)$$

$$L = \text{Panjang karakteristik, (m)}$$

Panjang karakteristik pada plat horizontal dapat diambil sebagai panjang sisi untuk persegi, setengah lebar plat untuk plat persegi panjang dan 0,9 D untuk cakram bola dengan diameter D.

$$L = \frac{A}{P} = \frac{w}{2}$$

Dimana :

$$L = \text{Panjang karakteristik, (m)}$$

$$A = \text{Luas permukaan plat, (m}^2\text{)}$$

$$P = \text{Keliling Plat (perimeter), (m)}$$

$$w = \text{Lebar dinding, (m)}$$



Laju perpindahan panas konveksi dicari dengan hukum pendinginan Newton, yaitu :

$$q = hA(T_s - T_\infty)$$

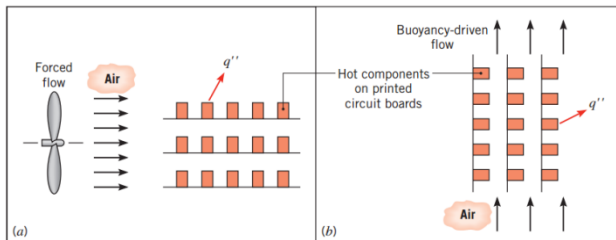
Dimana :

$q$  = Laju perpindahan panas konveksi, (W)

$h$  = Koefisien perpindahan panas konveksi,  $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

$T_s$  = Temperatur permukaan, ( $^{\circ}C$ )

$T_\infty$  = Temperatur Fluida, ( $^{\circ}C$ )



**Gambar 2.6** Perpindahan Panas Konveksi

(Sumber: F.P Incropera; 1981, *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, 7th Edition)

Dalam analisis perpindahan panas konveksi maka faktor utama yang harus ditentukan : koefisien perpindahan panas konveksi akan bergantung dari medan aliran yaitu bilangan Reynold (Re) dan bilangan Prandtl (Pr) selain dari bentuk lintasannya.

Bilangan Reynold (Re) merupakan suatu perbandingan antara gaya inersia dengan gaya gesek dari fluida tersebut yang besarnya adalah :

$$Re = \frac{VL}{\nu}$$

Dimana :

$V$  = Kecepatan Fluida,  $\left(\frac{m}{s}\right)$

$L$  = Panjang lintasan, (m)

$\nu$  = Viskositas kinematik,  $\frac{m^2}{s}$

Bilangan Prandtl (Pr) adalah suatu parameter yang menunjukkan perbandingan antara viskositas kinematik dan

difusifitas termal dari fluida. Viskositas kinematik fluida memberikan informasi tentang laju difusi momentum dalam fluida karena gerak molekul, difusi termal memberikan informasi tentang hal yang serupa mengenai difusi panas dalam fluida. Jadi perbandingan antara kedua kuantitas itu menunjukkan besaran relatif antara difusi momentum dan difusi kalor di dalam fluida. Besarnya bilangan Prandtl adalah :

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu}{\rho} \frac{\rho C_p}{k} = \frac{C_p \mu}{k}$$

Dimana :

$\nu$  = Viskositas kinematik,  $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

$C_p$  = Konstanta pans spesifik pada tekanan konstan,  $\left(\frac{J}{kg^\circ K}\right)$

$\rho$  = Density fluida,  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

$k$  = Konduktivitas Panas Fluida,  $\left(\frac{W}{m^\circ K}\right)$

$\mu$  = Viskositas Absolute,  $\left(\frac{kg}{s.m}\right)$

Untuk menentukan koefisien perpindahan panas konveksi digunakan bilangan Nusselt yang didapat dari percobaan/analisis. Bilangan Nusselt didefinisikan sebagai :

$$\overline{Nu}_L = \frac{\bar{h}L}{K_f}$$

Dimana :

$\overline{Nu}_L$  = Bilangan Nusselt

$\bar{h}$  = Koefisien Perpindahan Panas Konveksi,  $\left(\frac{W}{m^2^\circ K}\right)$

$K_f$  = Konduktifitas Fluida,  $\left(\frac{W}{m^\circ K}\right)$

Bilangan Nusselt merupakan fungsi dari medan aliran yaitu bilangan Reynold (Re) dan bilangan Prandtl (Pr). Hubungan antara  $\overline{Nu}_L$  dengan Re dan Pr tergantung dari bentuk aliran dan lintasan.

Hubungan ini biasanya didapat dengan percobaan, misalnya :

- Untuk aliran laminar melintasi plat datar

$$\overline{Nu_L} = 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Pr^{\frac{1}{3}}$$

- Untuk aliran turbulen melintasi plat datar

$$\overline{Nu_L} = 0,0296 Re^{\frac{4}{5}} \times Pr^{\frac{1}{3}}$$

Keanalogisan antara perpindahan panas konveksi dengan perpindahan massa konveksi menjadikan parameter-parameter untuk menghitung perpindahan massa konveksi.

Bilangan Sherwood didefinisikan sebagai :

$$\overline{S_{hl}} = \frac{\bar{h}mL}{D_{AB}}$$

Dimana :

$\overline{S_{hl}}$  = Bilangan Sherwood

$\bar{h}m$  = koefisien perpindahan panas konveksi, ( $\frac{m}{s}$ )

$L$  = Panjang karakteristik, (m)

$D_{AB}$  = Difusifitas massa fluida, ( $\frac{m^2}{s}$ )

Bilangan Sherwood merupakan fungsi dari medan aliran yaitu bilangan Reynold (Re) dan bilangan Schmidt (Sc).

- Untuk aliran laminar melintasi plat datar

$$\overline{S_{hl}} = 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Sc^{\frac{1}{3}}$$

- Untuk aliran turbulen melintasi plat datar

$$\overline{S_{hl}} = 0,0296 Re^{\frac{4}{5}} \times Sc^{\frac{1}{3}}$$

### 2.1.3 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi disebabkan karena adanya pancaran energi (radiasi elektromagnetik) oleh suatu benda karena temperaturnya. Perpindahan panas radiasi terjadi tanpa melalui suatu media perantara dan perpindahan panas ini dapat terjadi pada ruang hampa (vakum).

Stefan Boltzan telah menyatakan besarnya radiasi maksimum yang dapat dipancarkan oleh suatu permukaan benda hitam (black body), yaitu :

$$q'' = \sigma \times T_s^4$$

Dimana :

$q''$  = panas maksimum yang diradiasikan,  $\left(\frac{W}{m^2}\right)$

$\sigma$  = konstanta Boltzman,  $\left(5,678 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}\right)$

$T_s$  = Temperatur permukaan, ( $^{\circ}C$ )

Radiasi yang dipancarkan oleh suatu permukaan nyata (real) akan lebih kecil dari persamaan di atas, karena itu untuk permukaan nyata harus dikalikan dengan suatu factor yang disebut *emisivitas* ( $\varepsilon$ ).

Sehingga panas yang diradiasikan adalah :

$$q'' = \varepsilon \sigma A T_s^4$$

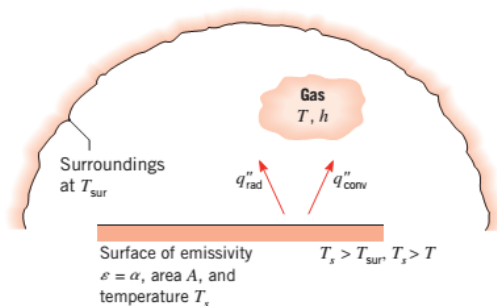
Dimana :

$q''$  = laju perpindahan pans radiasi, (W)

$\varepsilon$  = emisivitas permukaan

$\sigma$  = konstanta Boltzman,  $\left(5,678 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}\right)$

$A$  = luas permukaan, ( $m^2$ )



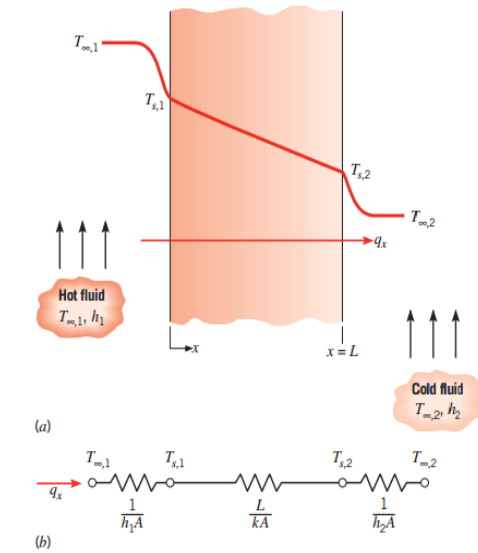
**Gambar 2.7** Pertukaran radiasi antara permukaan dengan sekelilingnya

(Sumber: F.P Incropera; 1981, *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, 7th Edition)

### 2.1.4 Perpindahan Panas Gabungan

Di dalam praktek perpindahan panas yang terjadi tidak hanya dalam satu mekanisme saja melainkan terjadi secara gabungan antara konduksi, konveksi, dan radiasi maupun ketiga mekanisme tersebut.

Perpindahan panas gabungan antara konduksi dengan konveksi seperti gambar di bawah ini akan lebih mudah menentukannya jika dengan menggunakan metode thermal resistant (R). Karena dengan tanpa mengetahui temperatur permukaan benda ( $T_{s,1}$  dan  $T_{s,2}$ ) besarnya perpindahan panas dapat diketahui.



**Gambar 2. 8** Perpindahan panas antara konduksi dengan konveksi

(Sumber: F.P Incropera; 1981, *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, 7th Edition)

Maka laju perpindahan panas :

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{R_{tot}}$$

$$R_{tot} = \frac{1}{h_1 A} + \frac{1}{KA} + \frac{1}{h_2 A}$$

Dimana :

$R_{tot}$  = tahanan total panas,  $\left(\frac{^\circ K}{W}\right)$

$T_{\infty,1}$  = temperatur fluida 1,  $(^\circ C)$

$T_{\infty,2}$  = temperatur fluida 2,  $(^\circ C)$

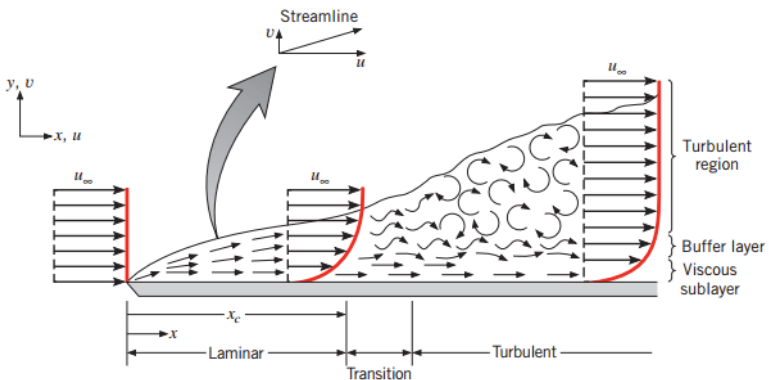
$h_1$  = koefisien konveksi fluida 1,  $\left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}\right)$

$h_2$  = koefisien konveksi fluida 2,  $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$

$A$  = Luas permukaan perpindahan panas,  $(m^2)$

## 2.2 Aliran Laminer dan Turbulen

Dalam mengerjakan setiap persoalan konveksi, langkah pertama yang diambil adalah menentukan aliran tersebut laminar atau turbulen. Gesekan permukaan dan laju perbedaan konveksi sangat tergantung pada keberadaan kondisi tersebut. Seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini, ada perbedaan tajam antara kondisi laminar dan turbulen. Pada batas laminar, pergerakan fluida sangat teratur dan memungkinkan untuk mengidentifikasi partikel-partikel memanjang pada garis *streamline*.



**Gambar 2.9** Pengembangan lapisan batas kecepatan pada plat datar

(Sumber: F.P Incropera; 1981, *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, 7th Edition)

Pergerakan fluida memanjang garis streamline dikarakteristikan oleh komponen kecepatan pada kedua arah  $x$  dan  $y$ . Karena komponen kecepatan  $V$  adalah normal pada permukaan, maka komponen tersebut dapat memberikan kontribusi yang cukup pada perpindahan momentum, energi, dan spesies melalui lapisan batas. Perpindahan fluida normal pada permukaan adalah diperlukan oleh pertumbuhan lapisan batas pada arah  $x$ .

Berbeda dengan pergerakan fluida pada lapisan batas turbulen yang sangat tidak teratur dan dikarakteristik oleh fluktuasi kecepatan. Fluktuasi ini menambah perpindahan momentum, energi, dan spesies. Karena itu menambah laju perpindahan konveksi. Sebagai akibat hasil pencampuran dari fluktuasi, ketebalan lapisan batas turbulen adalah lebih besar dari profil lapisan batas kecepatan, lapisan batas temperatur, dan lapisan batas konsentrasi. Adalah lebih datar daripada lapisan laminar.

Kondisi ini digambarkan secara skematis pada gambar 2.9 Untuk pengembangan lapisan batas pada plat datar. Lapisan batas mula-mula laminar, tetapi untuk suatu jarak dari ujung, transisi ke aliran turbulen mulai terjadi fluktuasi fluida untuk berkembang pada daerah transisi dan lapisan batas akhirnya menjadi turbulen penuh. Perpindahan menjadi turbulen diikuti oleh kenaikan yang cukup berarti pada ketebalan lapisan batas, tahanan geser dinding, dan koefisien konveksi.

Pada lapisan batas turbulen, tiga daerah berbeda dapat dilukiskan. Pada laminar sublayer, transport didominasi oleh difusi dan profil kecepatan adalah mendekati linier. Dan pada lapisan daerah turbulen transport didominasi oleh campuran turbulen.

Pada perhitungan sifat lapisan batas, sering digunakan untuk mengasumsikan bahwa transisi terjadi pada local  $X_c$ . Bilangan Reynold kritis adalah nilai dari  $(Re)$  pada transisi yang terjadi dan untuk aliran luar bilangan tersebut diketahui bervariasi dari  $10^5$  sampai  $3 \times 10^6$ , tergantung pada kekasaran permukaan. Asumsi umum untuk perhitungan lapisan batas diambil harga Reynold sebesar :  $Re = 5 \times 10^5$ . Bila bilangan Reynoldnya

$< 5 \times 10^5$  disebut aliran laminar,  $5 \times 10^5 < Re < 5 \times 10^8$  disebut aliran transisi dan  $Re > 5 \times 10^8$  disebut aliran turbulen.

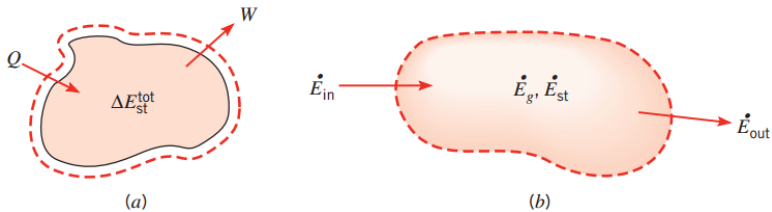
## 2.2 Kekekalan Energi

Analisis perpindahan panas merupakan perluasan dari termodinamika yang memperhatikan laju perpindahan energi. Selanjutnya dalam menganalisis perpindahan panas Hukum I Termodinamika (hukum kekekalan energi) memegang peranan penting dalam melakukan analisis.

### 2.3.1 Kekekalan Energi Volume Atur

Dalam menganalisis perpindahan panas perlu melakukan identifikasi volume atur yaitu melakukan pembatasan terhadap daerah yang dilalui energi/material dengan mengacu pada hukum I termodinamika, maka kekekalan energi volume atur dapat didefinisikan sebagai :

*Laju energi termal dan mekanika yang memasuki volume atur dikurangi dengan laju energi yang meninggalkan volume atur sama dengan energi yang tersimpan di dalam volume atur.*



**Gambar 2.10** Kekekalan energi volume atur

(Sumber: F.P Incropera; 1981, *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, 7th Edition)

Notasi untuk energi yang masuk meninggalkan volume atur adalah  $E_{st}$ . Bentuk umum dari kekekalan energi dapat dinyatakan :

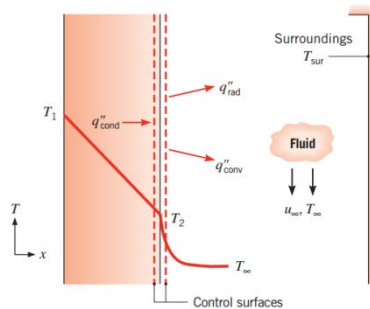
$$E_{in} + E_g - E_{out} = E_{st}$$



### 2.3.2 Kestimbangan Energi Permukaan

Pada kasus khusus dimana permukaan atur tidak mempunyai massa/volume dan tidak berhubungan dengan energi bangkitan, serta syarat kekekalan energi berlaku untuk keadaan tunak (*steady state*) dan kondisi transisi (*transient*), maka :

$$E_{in} = E_{out}$$



**Gambar 2.11** Kekekalan energi permukaan sebuah media

(Sumber: F.P Incropera; 1981, *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, 7th Edition)

Pada gambar di atas ditunjukkan tiga bentuk perpindahan panas permukaan atur dengan basis persatuan luas. Ketiga bentuk tersebut adalah konduksi dari media ke permukaan luar, konveksi dari permukaan ke fluida, dan pertukaran radiasi netto dari permukaan ke sekeliling. Sehingga kesetimbangan energi gambar di atas :

$$q''_{konduksi} - q''_{konveksi} - q''_{radiasi} = 0$$

## 2.4 Perpindahan Panas Kalor Sensibel dan Kalor Laten

Kalor adalah salah satu bentuk energi. Jika suatu zat menerima atau melepaskan kalor, maka ada dua kemungkinan yang akan terjadi. Yang pertama adalah terjadinya perubahan temperatur dari zat tersebut, kalor yang seperti ini disebut dengan kalor sensibel (*sensible heat*). Dan yang kedua adalah terjadi perubahan fase zat, kalor jenis ini disebut dengan kalor laten (*latent heat*).

### 2.4.1 Kalor Sensibel (*Sensible Heat*)

Apabila suatu zat menerima kalor sensibel maka akan mengalami peningkatan temperatur, namun jika zat tersebut melepaskan kalor sensibel maka akan mengalami penurunan temperatur.

Persamaan kalor sensibel adalah sebagai berikut :

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Dimana :

$Q$  = Energi kalor yang dilepas atau diterima suatu zat (J)

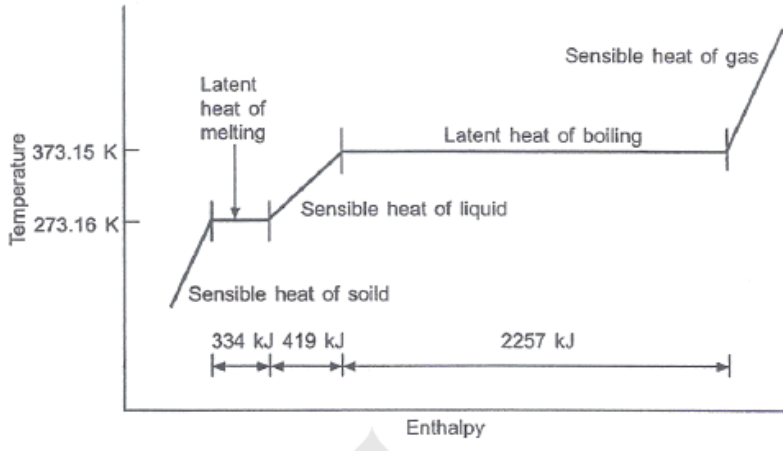
$m$  = Massa zat yang mengalami perubahan temperatur (kg)

$C_p$  = Kalor jenis zat ( $\frac{J}{kg \cdot K}$ )

$\Delta T$  = Perubahan temperatur yang terjadi (K)

### 2.4.2 Kalor Laten (*Latent Heat*)

Jika suatu zat menerima atau melepaskan kalor, pada awalnya akan terjadi perubahan temperatur, namun demikian hal tersebut suatu saat akan mencapai keadaan jenuhnya dan menyebabkan perubahan fase. Kalor yang demikian itu disebut sebagai kalor laten. Pada suatu zat terdapat dua macam kalor laten, yaitu kalor laten peleburan atau pembekuan dan kalor laten penguapan atau pengembunan. Kalor laten suatu zat biasanya lebih besar dari kalor sensibelnya, hal ini karena diperlukan energi yang besar untuk merubah fase suatu zat.



**Gambar 2.12** Energi yang dibutuhkan untuk merubah temperatur dan fase air

Secara Umum kalor laten yang digunakan untuk merubah fase suatu zat dirumuskan dengan :

$$Q = m \cdot h_l$$

Dimana :

$Q$  = Energi kalor yang dilepas atau diterima suatu zat (J)

$h_l$  = Kalor Laten ( $\text{kJ}/\text{kg}$ )

Jika udara mengalir melewati suatu permukaan basah, akan terjadi perpindahan kalor sensibel dan kalor laten secara bersamaan. Bila terdapat perbedaan suhu antara udara dan permukaan basah tersebut akan terjadi perpindahan kalor sensibel dan kalor laten secara bersamaan. Bila terdapat perbedaan suhu antara permukaan basah tersebut maka kalor akan dipindahkan. Bila terdapat pada temperatur antara tekanan parsial uap air di udara dan tekanan parsial uap air pada permukaan basah, maka akan terjadi perpindahan massa uap air. Perpindahan massa ini menyebabkan perpindahan panas juga, karena pada saat air mengembun, kalor laten harus dikeluarkan dari air tersebut.

Sebaliknya jika sejumlah cairan menguap dari lapisan permukaan basah, maka harus diberikan kalor penguapan pada air tersebut.

## 2.5 Proses Pengeringan

Pengeringan merupakan proses pemindahan panas dan uap air secara simultan, yang memerlukan energi panas untuk menguapkan kandungan air yang dipindahkan dari permukaan bahan, yang dikeringkan oleh media pengering yang biasanya berupa panas.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengeringan ada 2 golongan, yaitu:

1) Faktor yang berhubungan dengan udara pengering

Yang termasuk dalam golongan ini adalah suhu, kecepatan volumetrik aliran udara pengering, dan kelembaban udara.

2) Faktor yang berhubungan dengan sifat bahan yang dikeringkan

Yang termasuk dalam golongan ini adalah ukuran bahan, kadar air awal, dan tekanan parsial dalam bahan.

Pada pengeringan mekanisme ini, memerlukan energi untuk memanskan alat pengering, mengimbangi radiasi panas yang keluar dari alat, memanaskan bahan, menguapkan air bahan serta menggerakkan udara. Semakin tinggi suhu yang digunakan untuk pengeringan maka makin tinggi pula energi yang disuplai dan makin cepat pula laju pengeringannya. Akan tetapi, pengeringan yang terlalu cepat kering. Sehingga tidak sebanding dengan kecepatan pengeringan air bahan ke permukaan bahan. Hal ini menyebabkan pengerasan pada permukaan bahan (hardening). Selanjutnya air dalam bahan tidak dapat lagi menguap karena terhalangi permukaan bahan yang telah kering. Disamping itu pula penggunaan suhu yang terlalu tinggi dapat merusak bahan.

- Tidak tergantung cuaca
- Mudah dikendalikan
- Tidak memerlukan tempat yang luas
- Kondisi pengeringan dapat dikendalikan

Proses pengeringan mekanis dapat dilakukan dengan dua metode yaitu :

1. Pengeringan langsung/konveksi adalah bahan dikeringkan dengan cara mengeluarkan udara pengering melewati bahan
2. Pengeringan tidak langsung/konduksi adalah dinding panas yang bersentuhan dengan bahan yang akan dikeringkan secara konduksi.

Peristiwa yang terjadi selama pengeringan meliputi dua proses yaitu :

- Perpindahan panas dari luar ke bahan
- Perpindahan massa air dari permukaan bahan ke udara dan dari dalam bahan ke permukaan.

Proses perpindahan panas terjadi karena suhu lebih melewati permukaan bahan secara konveksi ataupun oleh dinding panas secara konduksi dan panas ini akan menaikkan suhu permukaan dan menaikkan tekanan uap air permukaan. Sehingga terjadi perpindahan dalam bentuk uap air di dalam bahan berada dalam kesetimbangan dengan tekanan uap air di udara sekitar. Pada saat pengeringan dimulai, panas diberikan ke bahan akan menaikkan tekanan uap air terutama sejalan dengan kenaikan suhunya.

Pada saat proses ini terjadi perpindahan massa dari bahan ke udara dalam bentuk uap air sehingga terjadi pengeringan pada permukaan bahan. Setelah itu tekanan uap air pada permukaan bahan akan menurun setelah kenaikan suhu terjadi pada seluruh bahan. Maka terjadi pergerakan air secara difusi dari dalam bahan ke permukaan bahan diulangi lagi. Akhirnya setelah air bahan berkurang, tekanan uap air bahan menurun sampai terjadi kesetimbangan dengan udara sekitarnya.

Selama proses pengeringan terjadi perpindahan cairan (penguapan) dengan dua cara, yaitu ;

1. Perpindahan cairan dari dalam bahan ke permukaan (difusi uap). Gerakan cairan yang terjadi di dalam bahan menuju permukaan karena adanya perbedaan konsentrasi. Dimana konsentrasi pada bagian dalam bahan lebih besar dari konsentrasi permukaan. Hal ini disebabkan oleh difusi uap. Dengan meninjau lapisan tipis gerakan uap air dari bahan ke permukaan dapat dicari persamaan Fick untuk difusi satu dimensi :

$$N_A'' = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial Y}$$

$$n_A'' = -D_{AB} \frac{\partial \rho_A}{\partial Y}$$

2. Perpindahan uap air dari permukaan bahan ke media pengering.
3. Perpindahan uap air dari permukaan bahan ke media pengering berlangsung secara konveksi. Laju perpindahan uap airnya dicari dengan persamaan :

$$N_A'' = h_m (C_{A,S} - C_{A,\infty})$$

Dan laju perpindahan massa uap airnya dapat dicari dengan persamaan :

$$n_A'' = h_m (\rho_{A,S} - \rho_{A,\infty})$$

## 2.6 Daun Mengkudu

Tanaman mengkudu diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : *Plantae*

Divisi : *Spermatophyta*

Subdivisi : *Angiospermae*

Kelas : *Dicotyledone*

Anak kelas : *Sympetalae*

Bangsa : *Rubiales*

Suku : *Rubiaceae*

Genus : *Morinda*

Spesies : *Morinda citrifolia*



**Gambar 2.13** Daun Mengkudu

(Sumber: I Gusti Ayu Istri Praminingrat Aryadi, 2014)

Daun tersusun berhadapan dan bertangkai pendek. Daunnya tebal, lebar dan mengkilap. Bentuk daun lonjong menyempit ke arah pangkal. Daun mengkudu merupakan daun tunggal berwarna hijau kekuningan, bersilang hadapan, ujung meruncing dan bertepi rata dengan ukuran panjang 10 - 40cm dan lebar 15 -17cm.

Kandungan senyawa kimia zat aktif utama dalam daun mengkudu meliputi: *terpenoid*, antibakteri, *ascorbic acid*, *beta karoten*, *L-arginine*, *xeronine*, dan *proxeronine*. Selain itu, mengkudu juga mengandung *antraquinon* dan *scolopetin* yang aktif sebagai antimikroba, terutama bakteri dan jamur yang penting dalam mengatasi peradangan dan alergi. Daun mengkudu juga mengandung zat kapur, protein, zat besi, *karoten*, *arginin*, asam *glutamat*, *tirosin*, asam *askorbat*, asam *ursolat*, *thiamin*, dan *antraquinon*. Daun mengkudu juga mengandung spektrum luas antrakuinon seperti *iridoid*, *glikosida flavonol*, dan *triterpen*. Senyawa ini berfungsi sebagai antibakteri seperti: *Staphylococcus aureus* yang menyebabkan peradangan dan infeksi, *Shigela* yang menyebabkan disentri.

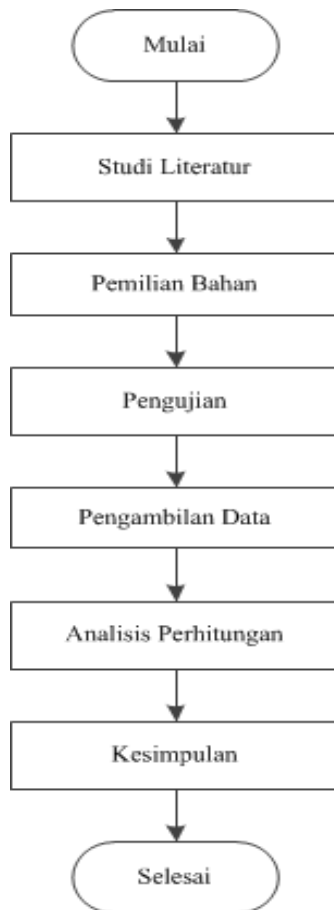
Daun mengkudu memiliki beberapa manfaat diantaranya saat basah sebagai “lalapan” di daerah masyarakat sunda, menjadi pembungkus makanan atau ikan di daerah Thailand. Bila kering daun mengkudu memiliki manfaat dijadikan serbuk untuk kepentingan kosmetik, minuman, obat gigi tentunya dengan treatment yang berbeda – beda. Semua manfaat tersebut tentunya didasarkan pada studi tentang kandungan senyawa kimia yang ada di dalamnya.

Dalam proses pengeringan daun mengkudu terdapat beberapa cara semisal cara konveksional atau dengan teknologi terbaru. Secara visualisasi daun mengkudu dikeringkan hingga berbau harum dan daun akan patah bila ditekan. Secara *Rendemen* berkisar antara 12,20 % - 31,28 % atau dibawah 25% dari berat awal daun mengkudu basah. Jumlah kadar air menurut SNI 01-4320-1996 dalam minuman instan sebesar 3%, artinya dalam proses pengeringan daun mengkudu untuk minuman, kadar air daun mengkudu kering harus mendekati 3%.

## **BAB III METODOLOGI**

### **3.1 Diagram Alir Tugas Akhir**

Agar dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini, ditempuh melalui beberapa tahapan di antaranya dapat berupa seperti flowchart di bawah ini :



**Gambar 3.1** Flow Chart Pengerjaan Tugas Akhir



Berikut ini merupakan langkah – langkah dalam penyusunan tugas akhir, berikut ini urutan prosesnya :

### **3.2 Persiapan Awal**

- a) Penentuan tema awal Tugas Akhir mengenai pengeringan daun mengkudu
- b) Studi literatur terhadap proses pengujian
- c) Penjadwalan dan persiapan terhadap pengujian bahan
- d) Menyiapkan daun mengkudu, dengan mengambil pada lapangan dekat kantin tengah kampus D3 Teknik Mesin ITS
- e) Menyiapkan tabung LPG yang terisi untuk proses pengujian
- f) Menyiapkan alat-alat penunjang pengujian untuk pengambilan data seperti anemometer, tachometer, pematik api, thermometer, timbangan digital, dan hygrometer

### **3.3 Prosedur Percobaan/Pengujian**

#### **3.3.1 Pengujian**

Sebelum melakukan pengujian daun mengkudu dirajang atau dipotong kecil – kecil sekitar persegi 5x5 cm, batang daun telah terlebih dahulu dibuang karna memang tidak digunakan. Setelah itu daun - daun tersebut diratakan di lima rak yang tersedia, ditata secara acak yang penting tidakn saling menumpuk lebih dari 2 daun. Pasang tabung gas LPG sehingga gas mengalir dalam ruang pengapian. Kemudian nyalakan api pada ruang pengapian. Start dari awal menggunakan api sedang dan bila mencapai temperatur yang dikehendaki baru api kemudian dikecilkan. Setelah daun mengkudu kering, matikan nyala api dan cabut saluran gas yang terpasang pada tabung LPG.



**Gambar 3.2** Ruang Pengapian

*(Sumber: Dokumen pribadi)*

### 3.2.2 Peralatan Ukur Untuk Pengujian

Dalam pengambilan data – data saat pengujian dibutuhkan beberapa peralatan ukur, diantaranya :

1. **Thermometer**, alat yang digunakan untuk mengukur temperatur ruangan dalam oven. Thermometer yang digunakan dapat mengukur dari 0 hingga 300 °C dengan ketelitian 5 °C.



**Gambar 3.3** Thermometer

*(Sumber: Dokumen pribadi)*

2. **Anemometer**, alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan aliran udara yang keluar dari dalam pengering ke udara bebas melalui cerobong udara di bagian atas

oven. Selain itu juga dapat mengukur tempaeratur udara yang melewatinya. Anemometer yang digunakan dapat mengukur kecepatan dan temperatur dengan ketelitian satu angka dibelakang koma.



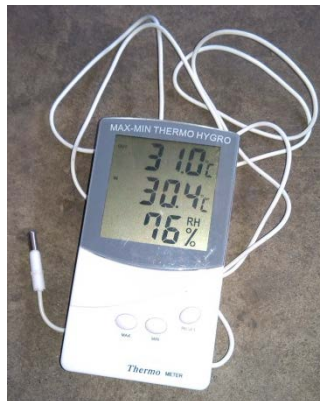
**Gambar 3.4** Anemometer  
(Sumber: Dokumen pribadi)

3. **Timbangan Digital**, alat yang digunakan untuk mengetahui berat bahan baik bahan sebelum pengeringan maupun bahan setelah menjadi kering, sehingga dapat menghitung persentase hilangnya kandungan air dari sebelum pengeringan sehingga menjadi bahan kering. Timbangan digital yang digunakan mengukur 0,0000 kg hingga 55,000 kg. Timbangan ini juga diperlukan untuk mengukur berat segala bahan atau alat keperluan saat pengujian.



**Gambar 3.5** Timbangan Digital  
(Sumber: Dokumen pribadi)

4. **Higrometer**, alat yang digunakan untuk mengetahui persentase Relative Humidity ( RH ) dan temperatur basah ruangan. Higrometer yang digunakan dapat mengukur temperatur basah  $-50 - 70^{\circ}\text{C}$  dan persentase Relative Humidity ( RH ) dari 25 hingga 100 %.



**Gambar 3.6** Hygrometer  
(Sumber: Dokumen pribadi)

5. **Tachometer**, alat yang digunakan untuk mengukur temperatur sama halnya dengan termometer namun alat ini lebih praktis. Cara kerja alat ini adalah tinggal menekan tombol dan mengarahkan laser pada bidang yang ingin diukur temperaturnya, kemudian di layar panel akan keluar nilai temperaturnya. Alat ini digunakan untuk mengukur temperatur permukaan daun mengkudu dan temperatur permukaan oven bagian dalam ataupun luar. Alat ini memiliki ketelitian 1 °C.



**Gambar 3.7** Tachometer

*(Sumber: Dokumen pribadi)*

6. **Pematik api**, alat yang digunakan untuk menyalakan api pada ruang pengapian. Bisa menggunakan jenis pematik api apapun dikarenakan pada ruang pengapian oven tidak memiliki pematik api.



**Gambar 3.8** Pematik api

*(Sumber: Dokumen pribadi)*

### **3.4 Tata Cara Pengujian**

Untuk melakukan suatu pengujian, dilakukan beberapa tahap pengujian di antaranya:

#### **3.4.1 Tahap Persiapan**

1. Mempersiapkan bahan yang akan dikeringkan, yaitu daun mengkudu yang telah dipotong dan dihilangkan batang daunnya.
2. Menimbang berat awal dari tabung LPG.
3. Menimbang berat awal dari daun mengkudu sebelum dikeringkan.
4. Mengatur letak dari daun mengkudu pada rak agar tidak menumpuk beberapa bagian.
5. Memasang saluran ke tabung gas LPG agar gas sebagai bahan bakar mengalir menuju ruang pengapian.
6. Pastikan saluran gas telah terhubung rapat tanpa kebocoran.
7. Menyiapkan seluruh alat ukur yang nantinya akan digunakan saat pengambilan data.
8. Letakkan thermometer di rak agar dapat mengukur temperatur udara di dalam oven tiap tingkatannya dan jangan sampai thermometer menyentuh daun mengkudu.
9. Nyalakan api di ruang pengapian.

10. Perhatikan temperatur oven agar tetap pada temperatur yang diinginkan, tiap pengujian berbeda besar temperaturnya.



**Gambar 3.9** Penataan Daun Mengkudu Pada Rak Dalam Oven  
(Sumber: Dokumen pribadi)

### 3.4.2 Tahap Pengambilan Data

Dalam setiap pengujian yang penulis lakukan, yang menjadi patokan dalam mencari data – data adalah dengan patokan temperatur. Setelah di dapat temperatur rata – rata barulah pengambilan data dilakukan. Data – data tersebut diambil pada waktu interval tertentu. Kemudian untuk setiap pengujian yang perlu dicatat antara lain:

- Berat daun mengkudu total sebelum dan sesudah pengujian
- Berat tabung gas LPG sebelum dan sesudah pengujian

- Kecepatan aliran dan temperatur udara pada cerobong
- Temperatur permukaan daun mengkudu di dalam oven
- Temperatur permukaan dinding oven luar maupun dalam
- Temperatur ruangan dalam oven
- Persentase Relative Humidity ( RH ) di dalam dan diluar oven
- Durasi pengujian yang digunakan sampai daun mengkudu menjadi kering

### **3.4.3 Tahap Setelah Pengujian**

Tahapan ini yaitu membersihkan dan merapikan peralatan pengujian agar siap untuk digunakan kembali saat pengujian selanjutnya, diantaranya:

- Membersihkan oven dari sisa – sisa hasil pengujian sebelumnya
- Cabut saluran gas LPG dari saluran yang ada di oven
- Mengemas dan menandai hasil pengujian agar tidak tertukar
- Merapikan seluruh alat ukur yang telah digunakan
- Membersihkan lingkungan sekitar tempat pengujian

### **3.4.4 Tahap Pengolahan Data**

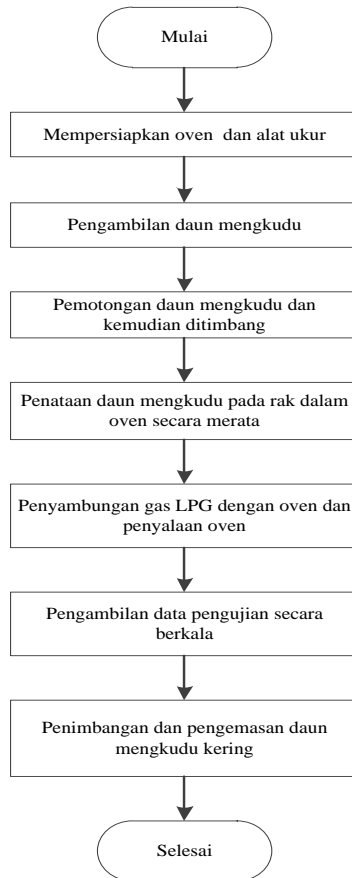
Setelah dilakukan pengujian dan diperoleh data – data dari hasil pengujian, kemudian dilakukan beberapa pengolahan data yang dimasukkan dalam suatu perhitungan di antaranya:

1. Menghitung panas yang masuk ke dalam sistem pengeringan ( $Q_{in}$ ).
2. Menghitung kerugian panas ( $Q_{loss}$ ) yang keluar menembus dinding dari pengering selama proses pengeringan bahan dan kerugian akibat adanya udara luar yang masuk ke sistem ( $Q_{infiltrasi}$ ).
3. Menghitung besar panas yang keluar dari pengering melalui cerobong ( $Q_{out}$ ).



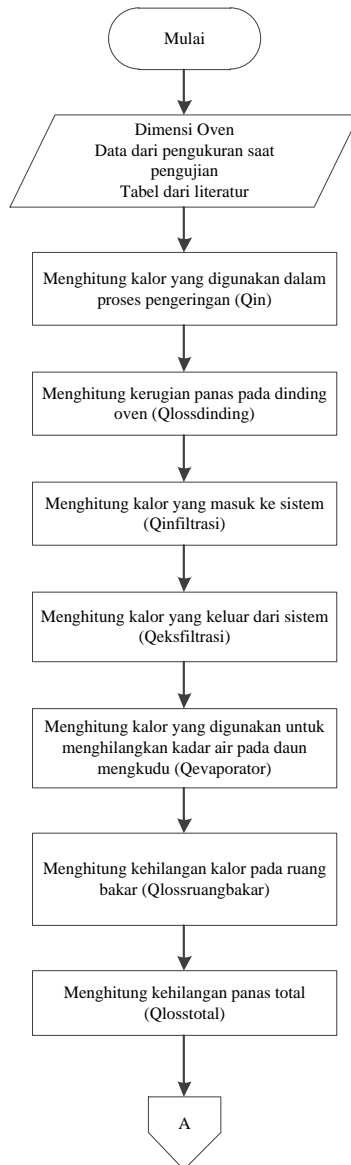
4. Menghitung besar panas untuk menghilangkan kadar air daun mengkudu ( $Q_{\text{evap}}$ ).
5. Menghitung waktu pengeringan daun mengkudu dari awal pengujian hingga kering atau akhir dari pengujian.
6. Menghitung persentase pengurangan berat daun mengkudu setelah dikeringkan.

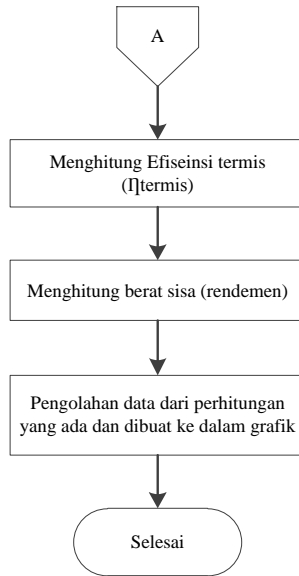
### 3.5 Diagram Alir Pengujian



**Gambar 3.10** Flow Chart Pengujian Daun Mengkudu

### 3.6 Diagram Alir Perhitungan Tugas Akhir

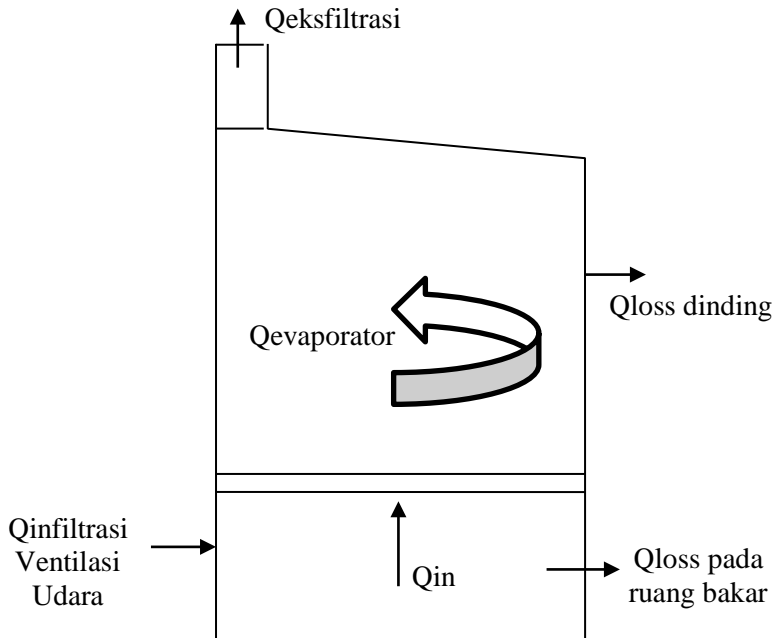




**Gambar 3.11** Flow Chart Perhitungan Tugas Akhir

## BAB IV ANALISIS PERHITUNGAN

### 4.1 Neraca Kalor pada Proses Pengeringan dengan Oven



**Gambar 4.1** Neraca Kalor Pada Proses Pengeringan Dengan Menggunakan Oven

Neraca kalor pada proses pengeringan dengan menggunakan oven:

$$Q_{in} = Q_{out}$$

$$Q_{in} + (-) Q_{infiltrasi} = Q_{evaporasi} + Q_{loss \text{ dinding}} + Q_{loss \text{ ruang bakar}} + Q_{eksfiltrasi}$$

## 4.2 Data Spesifikasi Alat

Beberapa data yang diperlukan untuk melakukan analisis adalah sebagai berikut:

- Dimensi oven
  - Panjang = 117 cm = 1,17 m
  - Lebar = 81 cm = 0,81 m
  - Tinggi = 182,5 cm = 1,825 m
- Dimensi cerobong
  - Panjang = 5,5 cm = 0,055 m
  - Lebar = 5,5 cm = 0,055 m
  - Tinggi = 100 cm = 1 m
  - $A_{ventilasiudara} = (0,055 \times 0,055)m^2$   
 $= 0,003025 m^2$
- Data dinding
  - ✓ Bahan Dinding
    1. Galvalume (kiri dan kanan)
      - Tebal ( $L_1$ ) = 8cm = 0,08m
      - Konduktivitas termal ( $k_1$ ) = 166 W/m<sup>°</sup>K
    2. Glass Wool (*cellular glass*)
      - Tebal ( $L_2$ ) = 5mm = 0,005m
      - Konduktivitas termal ( $k_2$ ) = 0,058 W/m<sup>°</sup>K
    3. Galvalume (depan)
      - Tebal ( $L_3$ ) = 4cm = 0,04m
      - Konduktivitas termal ( $k_3$ ) = 166 W/m<sup>°</sup>K
    4. Galvalume (belakang)
      - Tebal ( $L_4$ ) = 6cm = 0,06m
      - Konduktivitas termal ( $k_4$ ) = 166 W/m<sup>°</sup>K
- Luas permukaan dinding oven tanpa ruang bakar
  1. bagian depan tanpa kaca ( $A_1$ ) = 1,4109 m<sup>2</sup>
  2. kaca bagian depan ( $A_2$ ) = 0,0779 m<sup>2</sup>
  3. bagian kanan ( $A_3$ ) = 1,1178 m<sup>2</sup>
  4. bagian kiri ( $A_4$ ) = 0,94365 m<sup>2</sup>
  5. bagian belakang ( $A_6=A_1+A_2$ ) = 1,4888 m<sup>2</sup>
  6. bagian atas ( $A_5$ ) = 0,9477 m<sup>2</sup>

- L Karakteristik pada dinding vertikal, diasumsikan sebagai panjang tertinggi pada tiap dinding oven, jadi:
  1. L depan, belakang, kanan = 1,825 m
  2. L kiri = 1,725 m
  3. L karakteristik pada dinding horizontal , menggunakan rumus :

$$L = \frac{4A}{P} = \frac{4 \times (1,17 \text{ m} \times 0,81 \text{ m})}{2 \times (1,17 + 0,81)\text{m}} = 0,957273 \text{ m}$$

- Data rak penampung
 

Panjang	=	89 cm	=	0,89 m
Pegangan rak	=	10 cm	=	0,01 m
Lebar	=	71 cm	=	0,71 m
- Data ruang bakar
 

Tinggi	=	0,54	m
Luas	=	3,0861	m
- Data Bahan (Daun Mengkudu)  
Daun Mengkudu dengan berat 1,086 kg

### 4.3 Perhitungan Laju Perpindahan Panas yang Dibutuhkan di Ruang Oven

Berikut adalah perhitungan pada ruang oven,  $Q_{in}$  ialah panas yang dihasilkan dari oven, sedangkan indikator dari  $Q_{out}$  ialah  $Q_{loss \text{ dinding}}$ ,  $Q_{loss \text{ ruang bakar}}$ ,  $Q_{evaporasi}$ ,  $Q_{eksfiltrasi}$  dan  $Q_{infiltrasi}$

#### 4.3.1 Perhitungan $Q_{in}$ (W) yang Digunakan dalam Proses Pengeringan

Berdasarkan tabel.1 bahan bakar gas LPG didapat:

$$LHV = 46,00 \text{ MJ/kg}$$

- Perhitungan panas yang masuk dalam pengeringan

$$\begin{aligned}
Q_{in} &= \dot{m}_{bb} \times LHV \\
&= \frac{(5,232 - 4,912)kg}{115 \text{ menit}} \times \frac{1 \text{ menit}}{60 \text{ s}} \times 46,00 \frac{MJ}{kg} \times \frac{10^6 J}{1 MJ} \\
&= 2133,3333 \text{ W}
\end{aligned}$$

#### 4.3.2 Perhitungan $Q_{\text{loss}}$ (W) Pada Jenis Material yang Digunakan

Material yang digunakan ialah plat galvalume dan celluler glass sebagai isolatornya. Berikut adalah proses perhitungan untuk mencari  $Q_{\text{lossdinding}}$  pada jenis material yang digunakan. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan pendekatan *External Flow*.

- Bagian Dalam

- ✓ Temperatur rata-rata antara temperatur ruangan oven dan temperatur *surface plate* bagian kanan, depan, dan belakang lapisan dalam.

$$\begin{aligned}
T_f &= \frac{T_s + T_{\infty}}{2} \\
&= \frac{(324,4 + 348)K}{2} \\
&= 336,2 \text{ K}
\end{aligned}$$

- ✓ Properti-properti fluida

Dari  $T_f = 336,2 \text{ K}$ , maka dapat diketahui properti fluida dari *Appendix A.4* dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer***, yaitu :

$$\begin{aligned}
\nu &= 19,53172 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} \\
k &= 28,9788 \times 10^{-3} \frac{W}{m^2 K}
\end{aligned}$$

$$\alpha = 27,8576 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr = 0,701932$$

$$\rho = 1,0409264 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu = 201,6864 \times 10^{-7} \frac{Ns}{m^2}$$

✓ Kecepatan udara saat keluar cerobong

$$\begin{aligned} Re_u &= \frac{\rho_{udara} V_{udara} D_{cerobong}}{\mu} \\ &= \frac{1,0409264 \frac{kg}{m^3} \times 1,05 \frac{m}{s} \times 0,055m}{201,6864 \times 10^{-7} \frac{Ns}{m^2}} \\ &= 2980,543041 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= -1,7 + 1,8 \log 2980,543041 \\ &= 4,5537 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)} \\ &= \frac{2(4,5537)^2}{(4,4437+1)(2 \times 4,4437+1)} \frac{m}{s} \\ &= \frac{41,472}{48,3803} \frac{m}{s} \\ &= 1,4776 \frac{m}{s} \end{aligned}$$



✓ *Mass Flow Rate*

Suhu udara yang mengalir keluar cerobong, rata-ratanya sebesar 72,15 °C, maka dapat diketahui properti fluida dari *Appendix A.4* dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer***, yaitu didapatkan  $\rho = 1,001656 \frac{kg}{m^3}$  sehingga untuk mencari  $\dot{m}$  adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\dot{m} &= \rho_{out} \times V_{out} \times A_{cerobong} \\ &= 1,001656 \frac{kg}{m^3} \times 1,4776 \frac{m}{s} \times 0,003025 m^2 \\ &= 0,0045619543 \frac{m}{s}\end{aligned}$$

✓ *Kecepatan fluida di dalam oven*

$$\dot{m}_{keluar} = \dot{m}_{fluida \text{ didalam oven}}$$

$$\rho_{out} \times V_{out} \times A_{cerobong} = \rho_{in} \times V_{in} \times A_{celah \text{ rak}}$$

$$0,00451965 \frac{kg}{s} = 1,001656 \frac{kg}{m^3} \times V_{in} \times (0,71 \times 0,01) m^2$$

$$V_{in} = 0,635518 \frac{m}{s}$$

1. Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Galvalume* dinding bagian kanan, depan, belakang lapisan dalam oven

✓ *Panjang karakteristik*

$$L = \text{Tinggi Plat Vertikal} = 1,825 \text{ m}$$

✓ Reynold Number  $Re_x$

$$\begin{aligned} Re_x &= \frac{VL}{\nu} \\ &= \frac{0,635518 \frac{m}{s} \times 1,825 m}{19,53172 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}} \\ &= 59381,3742 \end{aligned}$$

✓ Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari  $Re_x=59381,3742$  maka, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah  $Re_x < 5 \cdot 10^5$ . Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned} N_{ux} &= 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Pr^{\frac{1}{3}} \\ &= 0,664 \times 59381,3742^{\frac{1}{2}} \times 0,701932^{\frac{1}{3}} \\ &= 143,79977 \end{aligned}$$

✓ Koefisien konveksi pada plat *Galvalume* bagian kanan,depan,belakang lapisan dalam oven :

$$\begin{aligned} h_1 &= \frac{N_{ux} \cdot k}{L} \\ &= \frac{143,79977 \cdot 28,9788 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}}{1,825 m} \end{aligned}$$

$$= 2,283367 \frac{W}{m \cdot K}$$

2. Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Galvalume* dinding bagian kiri lapisan dalam oven.

- ✓ Panjang karakteristik

$$L = \text{Tinggi Plat Vertikal} = 1,725 \text{ m}$$

- ✓ Reynold Number ( $R_{ex}$ )

$$\begin{aligned} R_{ex} &= \frac{VL}{\nu} \\ &= \frac{0,617858904 \frac{m}{s} \times 1,725 \text{ m}}{19,53172 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}} \\ &= 56172,60033 \end{aligned}$$

- ✓ Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari  $R_{ex}=56172,60033$  maka, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah  $R_{ex} < 5 \cdot 10^5$ . Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned} N_{ux} &= 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Pr^{\frac{1}{3}} \\ &= 0,664 \times 56172,60033^{\frac{1}{2}} \times 0,701932^{\frac{1}{3}} \\ &= 139,804558 \end{aligned}$$

- ✓ Koefisien konveksi pada plat *Galvalume* dinding bagian kiri lapisan luar oven :

$$\begin{aligned}
 h_2 &= \frac{N_{ux} \cdot k}{L} \\
 &= \frac{139,804558 \cdot 28,9788 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}}{1,725 \text{ m}} \\
 &= 2,348619319 \frac{W}{m \cdot K}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Galvalume* dinding bagian atas lapisan dalam oven.

- ✓ Panjang karakteristik horizontal

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{4A}{P} \\
 &= \frac{4 (1,17 \text{ m} \times 0,81 \text{ m})}{2 \times (1,17 + 0,81) \text{ m}} \\
 &= 0,957272 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- ✓ Reynold Number ( $R_{ex}$ )

$$\begin{aligned}
 R_{ex} &= \frac{VL}{\nu} \\
 &= \frac{0,635518014 \frac{m}{s} \times 0,957272 \text{ m}}{19,53172 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}} \\
 &= 31147,49046
 \end{aligned}$$

✓ Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari  $Re_x = 31147,49046$  maka, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah  $Re_x < 5 \cdot 10^5$ . Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned} N_{ux} &= 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Pr^{\frac{1}{3}} \\ &= 0,664 \times 31147,49046^{\frac{1}{2}} \times 0,701932^{\frac{1}{3}} \\ &= 104,1464867 \end{aligned}$$

✓ Koefisien konveksi pada plat *Galvalume* dinding bagian atas lapisan dalam oven

$$\begin{aligned} h_3 &= \frac{N_{ux} \cdot k}{L} \\ &= \frac{104,1464867 \cdot 28,9788 \cdot 10^{-3} \text{ W/m.K}}{0,957272 \text{ m}} \\ &= 3,152748557 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \text{K} \end{aligned}$$

• Bagian Luar

✓ Temperatur rata-rata antara temperatur luar oven dan temperatur *surface plate* bagian kanan, depan, dan belakang lapisan luar.

$$\begin{aligned} T_f &= \frac{T_s + T_\infty}{2} \\ &= \frac{306,2 + 304,4}{2} \end{aligned}$$

$$= 305,3 \text{ K}$$

✓ Properti-properti fluida

Dari  $T_f = 305,3K$ , maka dapat diketahui properti fluida dari *Appendix A.4* dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer***, yaitu :

$$\nu = 16,42318 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k = 26,6922 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\alpha = 23,2844 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr = 0,706258$$

$$\rho = 1,1437616 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu = 187,1016 \times 10^{-7} \frac{N \cdot s}{m^2}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

$$= \frac{1}{305,3 \text{ K}}$$

$$= 0,003275467 \text{ K}^{-1}$$

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

4. Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Galvalume* dinding bagian kanan, depan, dan belakang lapisan luar oven.

✓ Panjang karakteristik

$$L = \text{Tinggi Plat Vertikal} = 1,825 \text{ m}$$

✓ Rayleigh Number ( $Ra_L$ )

$$\begin{aligned} Ra_L &= \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \\ &= \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,003275 \text{ K}^{-1} \cdot (305,667 - 304,4) \text{ K} \cdot (1,825 \text{ m})^3}{16,42318 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 23,2844 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \\ &= 646950193,6 \end{aligned}$$

✓ Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari  $Ra_L = 646950193,6$ , besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah  $Ra_L \leq 10^9$ . Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned} Nu_L &= 0,68 + \frac{0,67 Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \\ &= 0,68 + \frac{0,67 (646950193,6)^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,706258}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \\ &= 82,64534186 \end{aligned}$$

- ✓ Koefisien konveksi pada dinding kanan, depan, belakang bagian luar plat *Galvalume*

$$\begin{aligned}
 h_4 &= \frac{Nu_L \cdot k}{L} \\
 &= \frac{82,64534186 \cdot 26,6922 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}} \text{K}}{1,825 \text{ m}} \\
 &= 1,208759449 \frac{\text{W}}{\text{m}} \text{K}
 \end{aligned}$$

5. Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Galvalume* dinding bagian kiri lapisan luar oven.

- ✓ Panjang karakteristik

$$L = \text{Tinggi Plat Vertikal} = 1,725 \text{ m}$$

- ✓ Rayleigh Number ( $R_{aL}$ )

$$\begin{aligned}
 Ra_L &= \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \\
 &= \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,00327 \text{ K}^{-1} \cdot (305 - 304,4) \text{ K} \cdot (1,725 \text{ m})^3}{16,42318 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 23,2844 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \\
 &= 258784611,4
 \end{aligned}$$

- ✓ Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari  $R_{aL} = 258784611,4$ , besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah  $R_{aL} \leq 10^9$ . Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :



$$\begin{aligned}
 N_{uL} &= 0,68 + \frac{0,67 RaL^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \\
 &= 0,68 + \frac{0,67.258784611,4^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,706258}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \\
 &= 65,86492267
 \end{aligned}$$

- ✓ Koefisien konveksi pada plat *Galvanized* dinding bagian kiri lapisan luar oven

$$\begin{aligned}
 h_5 &= \frac{N_{uL} \cdot k}{L} \\
 &= \frac{65,86492267 \cdot 26,6922 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}}{1,725 m} \\
 &= 1,019176631 \frac{W}{m^2 \cdot K}
 \end{aligned}$$

6. Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Galvalume* dinding bagian atas lapisan luar oven. Untuk Bagian atas oven, perhitungan menggunakan free convection untuk plat horizontal dengan bagian bawah plat panas atau bagian atas plat dingin.

- ✓ Panjang karakteristik

L = Tinggi Plat Horizontal  
 L = 0,957272 m

✓ Rayleigh Number ( $R_{aL}$ )

$$\circ \cos \alpha = \cos 5^\circ = 0,996$$

$$\begin{aligned} Ra_L &= \frac{g \beta \cos \alpha (T_s - T_\infty) L^3}{\nu \alpha} \\ &= \frac{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,003275 K^{-1} \cdot 0,996 \cdot (309 - 304,4) K \cdot (0,957272 m)^3}{16,42318 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \cdot 23,2844 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}} \\ &= 337710160,4 \end{aligned}$$

✓ Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari  $R_{aL} = 337710160,4$ , dimana bagian bawah plat panas atau bagian atas plat dingin dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah  $10^4 \leq Ra_L \leq 10^9$ . Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah

$$\begin{aligned} Nu_L &= 0,52 \cdot Ra_L^{\frac{1}{5}} \\ &= 0,52 \cdot (337710160,4)^{\frac{1}{5}} \\ &= 26,40658067 \end{aligned}$$

✓ Koefisien konveksi pada plat *Galvanized* dinding bagian atas lapisan luar oven

$$\begin{aligned} h_6 &= \frac{Nu_x \cdot k}{L} \\ &= \frac{26,40658067 \cdot 26,6922 \cdot 10^{-3} m \cdot K}{0,957272 m} \end{aligned}$$

$$= 0,736310262 \frac{W}{m^2.K}$$

✓ Perhitungan kerugian panas pada :

1. Dinding bagian depan ( $Q_{\text{loss}}$ )

$$\begin{aligned} \checkmark R_{tot_1} &= \frac{1}{h_1} + \left( \frac{1}{\frac{L_3}{k_3} + \frac{L_2}{k_2}} \right) + \frac{1}{h_4} \\ &= \left( \frac{1}{2,28336} + \left( \frac{1}{\frac{0,04}{166} + \frac{0,005}{0,058}} \right) + \frac{1}{1,20875} \right) \frac{m^2.K}{W} \\ &= 12,83291 \frac{m^2.K}{W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark Q''_{loss_1} &= \frac{\Delta T}{R_{tot_1}} \\ &= \frac{(348 - 304,4) K.W}{12,83291 m^2.K} \\ &= 3,379514 \frac{W}{m^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark Q_{loss_1} &= Q''_{loss_1} \times A_6 \\ &= 3,379514 \frac{W}{m^2} \times 1,4888 m^2 \\ &= 5,0821965 W \end{aligned}$$

2. Dinding bagian kanan ( $Q_{\text{loss}2}$ )

$$R_{tot_2} = \frac{1}{h_1} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{1}{h_4}$$

$$= \left( \frac{1}{2,283367} + \frac{0,08}{166} + \frac{1}{1,208759} \right) \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$= 1,265726 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$\checkmark Q''_{loss_2} = \frac{\Delta T}{R_{tot_2}}$$

$$= \frac{(348 - 304,4)K \cdot W}{1,265726 m^2 \cdot K}$$

$$= 34,44663 \frac{W}{m^2}$$

$$\checkmark Q_{loss_2} = Q''_{loss_2} \times A_3$$

$$= 34,44663 \frac{W}{m^2} \times 1,1178 m^2$$

$$= 38,50444 W$$

1. Dinding bagian belakang ( $Q_{loss_3}$ )

Karena hambatan sama dengan bagian kanan, tetapi dimensi berbeda. Maka:

$$\checkmark Q_{loss_3} = Q''_{loss_2} \times A_6$$

$$= 34,44663 \frac{W}{m^2} \times 1,4888 m^2$$

$$= 51,284143 W$$

2. Dinding bagian kiri ( $Q_{loss_4}$ )

$$\checkmark R_{tot_3} = \frac{1}{h_2} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{1}{h_5}$$

$$= \left( \frac{1}{2,348619} + \frac{0,08}{166} + \frac{1}{1,09176} \right) \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$= 1,40744 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$\checkmark Q''_{loss_4} = \frac{\Delta T}{R_{tot_3}}$$

$$= \frac{(348 - 304,4) K \cdot W}{1,40744 m^2 \cdot K}$$

$$= 30,97804 \frac{W}{m^2}$$

$$\checkmark Q_{loss_4} = Q''_{loss_4} \times A_4$$

$$= 30,97804 \frac{W}{m^2} \times 0,94365 m^2$$

$$= 29,232436 W$$

3. Dinding bagian atas ( $Q_{loss5}$ )

$$\checkmark R_{tot_5} = \frac{1}{h_3} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{1}{h_6}$$

$$= \left( \frac{1}{3,15274} + \frac{0,08}{166} + \frac{1}{0,73631} \right) \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$= 1,675788 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$\checkmark Q''_{loss_5} = \frac{\Delta T}{R_{tot_5}}$$

$$= \frac{(348 - 304,4)K.W}{1,675788 m^2.K}$$

$$= 26,0176 \frac{W}{m^2}$$

$$\checkmark Q_{loss_5} = Q''_{loss_5} \times A_5$$

$$= 26,0176 \frac{W}{m^2} \times 0,9477 m^2$$

$$= 24,65688 W$$

#### 4. Semua Dinding ( $Q_{loss\ total}$ )

$$Q_{loss\ total} = Q_{loss1} + Q_{loss2} + Q_{loss3} + Q_{loss4} + Q_{loss5}$$

$$= 3,674 + 24,929 + 33,203 + 21,442 + 18,11$$

$$= 148,7361244 W$$

#### 4.3.3 Perhitungan $Q_{infiltrasi}$ (W) yang masuk ke sistem

Udara lingkungan sebesar 31,4 °C, maka dapat diketahui properti fluida dari *Appendix A.4* dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer***, yaitu didapatkan  $C_p = 1,0072 \frac{kJ}{kg.K}$ .

- *Mass Flow Rate*

Suhu udara yang mengalir keluar cerobong, rata-ratanya sebesar 72,15 °C, maka dapat diketahui properti fluida dari *Appendix A.4* dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer***, yaitu didapatkan  $\rho = 1,0111 \frac{kg}{m^3}$

$$\dot{m} = \rho \times V_{cerobong} \times A_{cerobong}$$

$$= 1,0111 \frac{kg}{m^3} \times 1,05 \frac{m}{s} \times 0,003025 m^2$$

$$= 0,0032116 \frac{kg}{s}$$

- $Q_{infiltrasi} = \dot{m} \times Cp \times \Delta T$

$$0,0032116 \frac{kg}{s} \times 1,0072 \frac{kJ}{kg.K} \times (331 - 304,4) K.W$$

$$= 0,86044 kW$$

$$= 86,044 W$$

#### 4.3.4 Perhitungan $Q_{eksfiltrasi}$ (W) yang keluar melalui cerobong

Dengan menggunakan anemometer, diketahui  $T_{udara}$  yang keluar dari cerobong rata-ratanya adalah  $72,15^\circ C$ , maka dapat diketahui properti fluida dari *Appendix A.4* dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer***, yaitu didapatkan  $C_p = 1,008806 \frac{kJ}{kg.K}$ .

$$Q_{eksfiltrasi} = \dot{m} \times Cp \times \Delta T$$

$$= 0,0032116 \frac{kg}{s} \times 1,008806 \frac{kJ}{kg.K} \times (345,15 - 304,4) K.W$$

$$= 0,13202664 kW$$

$$= 132,02664 W$$

#### 4.3.5 Perhitungan Laju Perpindahan Panas Untuk Menghilangkan Kadar Air Dalam Daun Mengkudu ( $Q_{\text{evap}}$ )

Pada temperature permukaan daun mengkudu rata-ratanya adalah 60,2 °C, maka sifat-sifat air pada suhu tersebut menurut dari *Appendix A.6* dari buku *Fundamental Of Heat And Mass Transfer*, yaitu:

$$h_{fg} = 2358,32 \frac{kJ}{kg}$$

Mass Flow Rate Daun mengkudu yang dikeringkan adalah:

$$\begin{aligned}\dot{m} &= \frac{\text{Berat daun sebelum pengujian} - \text{berat daun setelah pengujian}}{\text{durasi pengujian}} \\ &= \frac{(1,086 - 0,242)kg}{115 \text{ menit} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ menit}}} \\ &= 0,00012231 \frac{kg}{s}\end{aligned}$$

maka,  $Q_{\text{evap}}$

$$\begin{aligned}Q_{\text{evap}} &= \dot{m} x h_{fg} \\ &= 0,00012231 \frac{kg}{s} \times 2358,32 \frac{kJ}{kg} \\ &= 288,4669 \text{ W}\end{aligned}$$

Setelah dilakukan beberapa kali pengujian dengan variasi temperatur , didapatkan data sebagai berikut:



**Tabel 4.1** Data Perhitungan  $Q_{\text{evaporasi}}$  dengan Variasi Temperatur

Temperatur (°C )	$\dot{m} \left( \frac{kg}{s} \right)$	$h_{fg} \left( \frac{kJ}{kg} \right)$	$Q_{\text{evap}} ( W )$
57,2	$5,495 \cdot 10^{-5}$	2389,68	131,324
63,5	$7,052 \cdot 10^{-5}$	2372	167,288
65,2	$7,017 \cdot 10^{-5}$	2368,88	166,237
75	$12,231 \cdot 10^{-5}$	2358,32	288,466
88	$11,666 \cdot 10^{-5}$	2358,8	275,193

#### 4.3.6 Perhitungan $Q_{\text{loss}} (W)$ pada ruang bakar oven

Temperatur rata-rata antara temperatur ruang bakar oven dan temperatur *surface plate* bagian dalam ruang bakar.

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} = \frac{339,2 + 331}{2} = 331,5 \text{ K}$$

- Properti-properti fluida

Dari  $T_f = 331,5 \text{ K}$ , maka dapat diketahui properti fluida dari *Appendix A.4* dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer***, yaitu :

$$v = 19,42106 \cdot 10^{-3} \frac{m^2}{s}$$

$$k = 28,8974 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\alpha = 27,6948 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$\text{Pr} = 0,702086$$

$$\rho = 1,04458 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu = 201,1672 \cdot 10^{-7} \frac{\text{N.s}}{\text{m}^2}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{331,5 \text{ K}} = 0,0029841 \text{ K}^{-1}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Galvalume* pada ruang bakar oven.

- Panjang karakteristik

$$L = \text{Tinggi Ruang Bakar} = 0,540 \text{ m}$$

- Rayleigh Number ( $Ra_L$ )

$$\begin{aligned} Ra_L &= \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \\ &= \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,0029841 \text{ K}^{-1} \cdot (339,2 - 331)\text{K} \cdot (0,540 \text{ m})^3}{19,42106 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 27,6948 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \\ &= 70277863,19 \end{aligned}$$

- Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari  $Ra_L = 70277863,19$ , besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah  $Ra_L \leq 10^9$ . Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned}
N_{uL} &= 0,68 + \frac{0,67 Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \\
&= 0,68 + \frac{0,67 \cdot (70277863,19)^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,702086}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \\
&= 47,7048988
\end{aligned}$$

- Koefisien konveksi pada ruang bakar bagian dalam plat *Galvalume*

$$\begin{aligned}
h &= \frac{N_{uL} \cdot k}{L} \\
&= \frac{47,7048988 \cdot 28,8974 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m} K}{0,540 m} \\
&= 2,55286 \frac{W}{m} K
\end{aligned}$$

- $R_{tot} = \frac{1}{h} + \frac{L}{K}$

$$\begin{aligned}
&= \left( \frac{1}{2,55286} + \frac{0,540}{166} \right) \frac{m^2 \cdot K}{W} \\
&= 0,394969 \frac{m^2 \cdot K}{W}
\end{aligned}$$

$$\checkmark \quad Q''_{loss} = \frac{\Delta T}{R_{tot}}$$

$$= \frac{(331 - 304,4)K.W}{0,394969 m^2.K}$$

$$= 77,72749 \frac{W}{m^2}$$

$$\checkmark Q_{loss} = Q''_{loss} \times A$$

$$= 77,72749 \frac{W}{m^2} \times 3,0861 m^2$$

$$= 239,874814 W$$

#### 4.3.7 Perhitungan $Q_{losstotal}$ ( W ) pada oven

Perhitungan kalor yang terbuang pada oven dihitung dengan menggunakan persamaan energi yang didapat dari neraca kalor.

$$Q_{losstotal} = Q_{infiltrasi} + Q_{loss \text{ dinding}} + Q_{loss \text{ ruang bakar}} + Q_{eksfiltrasi}$$

$$Q_{losstotal} = (86,044 + 148,736 + 239,874 + 132,026)W$$

$$= 606,6821 W$$

**Tabel 4.2** Data Perhitungan  $Q_{losstotal}$  dengan Variasi Temperatur

Temperatur (°C )	$Q_{losstotal}$ ( W )
57,2	356,9885
63,5	491,197
65,2	555,27
75	606,682
88	792,1009

#### 4.3.8 Perhitungan Efisiensi Termis

Setelah mendapat harga  $Q_{evap}$  dan  $Q_{in}$  maka didapat efisiensi sebesar :

$$\begin{aligned}\eta_{\text{Termis}} &= \frac{Q_{\text{evaporasi}}}{Q_{\text{in}}} = \frac{288,46696 \text{ W}}{2133,3333 \text{ W}} \times 100\% \\ &= 13,521889 \%\end{aligned}$$

**Tabel 4.3** Data Perhitungan  $\eta_{\text{termis}}$  dengan Variasi Temperatur

Temperatur (°C )	$\eta_{\text{termis}}$ ( % )
57,2	8,944
63,5	11,3896
65,2	11,5724
75	13,5218
88	11,0445

#### 4.3.9 Rendemen

Rendemen adalah persentase berat kering dibanding berat sebelum dikeringkan sehingga didapatkan rendemen sebesar:

$$\begin{aligned}\text{Rendemen} &= \frac{\text{berat daun setelah dikeringkan}}{\text{berat daun sebelum dikeringkan}} \times 100\% \\ &= \frac{0,242}{1,086} \times 100\% \\ &= 22,283609 \%\end{aligned}$$

**Tabel 4.4** Data Perhitungan *Rendemen* ( % ) dengan Variasi Temperatur

Temperatur (°C )	<i>Rendemen</i> ( % )
57,2	20,631
63,5	21,414
65,2	21,722
75	22,283
88	23,611

#### 4.3.10 Waktu Pengujian

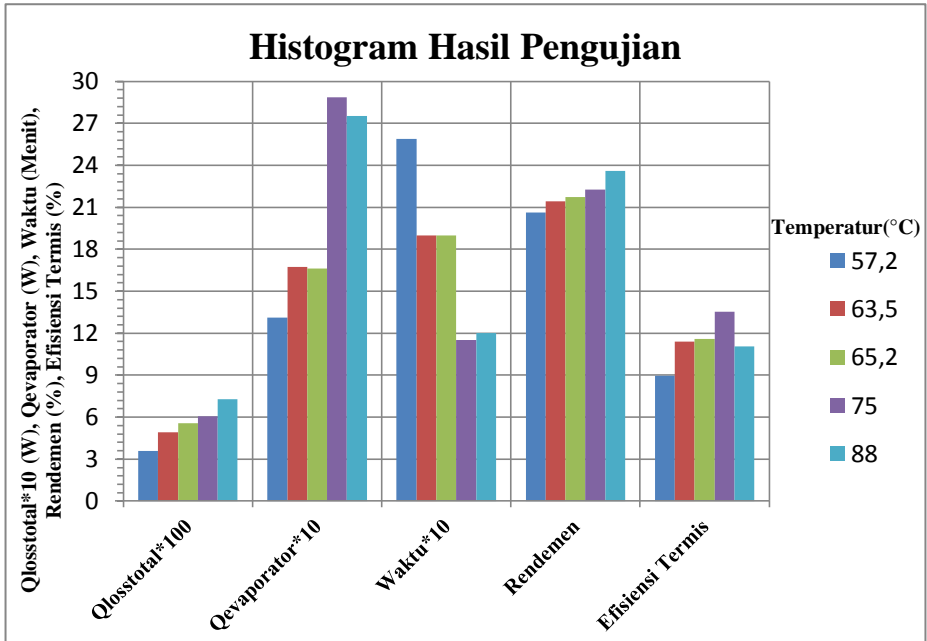
Dari hasil pengujian didapatkan waktu pengeringan sebagai berikut :

**Tabel 4.5** Data Waktu Pengujian dengan Variasi Temperatur

Temperatur (°C )	Waktu (menit)
57,2	259
63,5	190
65,2	190
75	115
88	120

#### 4.4 Grafik Pengujian

Berdasarkan perhitungan yang telah dibuat, berikut merupakan grafik yang merupakan hasil setelah lima kali mengadakan eksperimen berdasarkan variasi temperatur daun mengkudu.



**Gambar 4.2** Grafik Pengujian Fungsi Temperatur

#### 4.5 Biaya Operasi ( Biaya Bahan Bakar )

Biaya produksi yang dihitung adalah biaya dari bahan bakar, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$biaya\ produksi = \frac{m_{bb\ awal} - m_{bb\ akhir}}{m_{bb\ awal}} \times harga\ LPG$$

$$= \frac{5,232 - 4,912}{5,232} \times 17500$$

$$= 1070,336$$

**Tabel 4.6** Data Biaya Operasi Pengujian dengan Variasi Temperatur

Temperatur (°C )	Biaya Operasi
57,2	1157,642
63,5	808,1705
65,2	889,7458
75	1070,336
88	865,4578



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Pada bab sebelumnya telah diketahui bahwa tugas akhir ini berupa pengujian dan perhitungan, dimana pengujian menggunakan oven dengan dimensi 1,170 meter x 0,810 meter x 1,825 meter dan untuk perhitungan menggunakan rumus pendekatan *External flow* (bagian dalam oven) dan *Free Convection* (bagian luar oven). Dan dari beberapa kali pengujian dan perhitungan tersebut didapatkan beberapa kesimpulan yang berkaitan dengan efisiensi dari oven pengering ini.

Berikut merupakan data hasil dari pengujian pengeringan daun mengkudu:

1. Kerugian panas keseluruhan ( $Q_{\text{loss total}}$ ) terbesar yaitu 843,563 W terdapat pada kondisi temperatur sebesar  $88^{\circ}\text{C}$ , sedangkan kerugian panas keseluruhan ( $Q_{\text{loss total}}$ ) terkecil, yaitu sebesar 353,464 W terdapat pada kondisi luas laluan sebesar  $57,2^{\circ}\text{C}$ .
2. Kalor Penguapan ( $Q_{\text{evap}}$ ) terbesar yaitu 288,466 W pada kondisi temperatur sebesar  $75^{\circ}\text{C}$  dan kalor penguapan ( $Q_{\text{evap}}$ ) terkecil yaitu 131,324 W pada kondisi temperatur sebesar  $57,2^{\circ}\text{C}$ .
3. Waktu pengeringan tercepat yaitu 115 menit didapat pada kondisi temperatur sebesar  $75^{\circ}\text{C}$ , sedangkan waktu pengeringan terlama yaitu 259 menit didapat pada kondisi temperatur sebesar  $57,2^{\circ}\text{C}$ .
4. Pengurangan bobot (rendemen) terbanyak yaitu 23,611 % didapat pada kondisi temperatur sebesar  $88^{\circ}\text{C}$ , sedangkan pengurangan bobot (rendemen) tersedikit yaitu 20,631 % didapat pada kondisi temperatur sebesar  $57,2^{\circ}\text{C}$ .
5. Efisiensi termis ( $\eta_{\text{termis}}$ ) terbesar yaitu 13,521 % didapat pada kondisi temperatur sebesar  $75^{\circ}\text{C}$ , sedangkan efisiensi termis ( $\eta_{\text{termis}}$ ) terkecil didapat pada temperatur sebesar 8,944 % didapat pada kondisi temperatur sebesar  $57,2^{\circ}\text{C}$ .

Jadi, semakin tinggi temperatur yang digunakan untuk mengeringkan daun mengkudu tidak secara otomatis menghasilkan kalor penguapan ( $Q_{\text{evap}}$ ) yang besar dan efisiensi termis yang besar pula, ada suatu kondisi pengeringan dapat berjalan maksimal dan ada pula kondisi dimana efektifitas dari proses pengeringan makin menurun. Kondisi temperatur rendah pun tidak menjadi jaminan efisiensi yang tinggi.

Dari proses pengujian pengeringan daun mengkudu temperatur terefisien dalam adalah sekitar  $75^{\circ}\text{C}$ , karena pada pengujian temperatur tersebut menunjukkan hasil kerugian panasnya keseluruhannya ( $Q_{\text{losstotal}}$ ) 661,673 W yaitu bukanlah yang terbesar dari beberapa kali pengujian dengan temperatur yang berbeda, kalor penguapan ( $Q_{\text{evap}}$ ) daun mengkudu yang terbesar yaitu 288,466 W, waktu pengeringan keseluruhan yang tercepat yaitu 115 menit, efisiensi termis ( $\eta_{\text{termis}}$ ) yang tertinggi yaitu sebesar 13,521 %, dan meskipun pengurangan bobot (rendamen) yaitu 22,283 % bukan yang paling banyak tapi masih dapat dikatakan banyak bila dibandingkan hasil dari beberapa kali pengujian. Temperatur rak dari bawah ke atas saat kondisi ini yaitu sekitar  $80,5^{\circ}\text{C}$ ,  $85^{\circ}\text{C}$ ,  $74,5^{\circ}\text{C}$ ,  $70^{\circ}\text{C}$ ,  $65^{\circ}\text{C}$ .

Korelasi dari temperatur terhadap efisiensi termis pengeringan daun mengkudu adalah pada temperatur optimal pengeringan daun mengkudu, dimana temperatur sekitar  $75^{\circ}\text{C}$  menghasilkan ( $\eta_{\text{termis}}$ ) yang tertinggi yaitu sebesar 13,521 %. Tidak bisa diambil kesimpulan bahwa makin tinggi temperatur makin tinggi efisiensi termis yang diperoleh.

## 5.2 Saran

Ukuran daun mengkudu yang bervariasi mempengaruhi dalam proses pengeringan, sehingga perlu adanya penyamaan ukuran daun mengkudu yang dikeringkan. Karena berdasarkan hasil pengujian, daun mengkudu yang lebih besar akan lebih lambat dikeringkan. Makin kecil ukuran dari daun mengkudu makin cepat pula proses pengeringan berlangsung. Meskipun saat pengujian daun mengkudu telah di potong potong kecil namun untuk lebih meningkatkan efisiensi sebaiknya ukuran daun mengkudu diperkecil.

Besarnya kerugian panas keseluruhan ( $Q_{\text{loss total}}$ ) mengakibatkan adanya suatu analisa tentang tatanan rak dari oven. Saat proses pengeringan terjadi aliran udara panas mengalir melalui celah atau tingkatan rak dalam oven, bila jarak antar rak diperkecil atau jumlah rak ditambah mungkin dapat meningkatkan efektifitas dari oven ini mengingat temperatur keluar oven melalui cerobong masih tergolong tinggi.

Perubahan desain dan bahan dari ruang bakar layak untuk dipertimbangkan dikarenakan kalor masuk ( $Q_{\text{in}}$ ) masuk melalui ruang bakar ini. Sebaiknya desain dari distribusi api dibuat lebih dekat dengan plat konduktor agar perpindahan panas terjadi dalam jarak yang lebih dekat. Plat konduktor secara berkala diganti dan dilakukan perawatan agar perpindahan panas terjadi lebih efektif. Bahan untuk ruang bakar sebaiknya dibedakan dengan bahan ruang pengeringan oven, dikarenakan ruang bakar membutuhkan bahan isolator yang lebih baik daripada ruang pengeringan untuk menjaga agar kerugian panas pada ruang bakar ( $Q_{\text{loss ruang bakar}}$ ) dapat diminimalisir.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

**Alfalah, Afif. 2015. “Tugas Rancang Ulang Oven Guna Mengeringkan Jamur Tiram Dengan Daya Tampung 5,4 Kg”**

**Ayu Istri Praminingrat Aryadi, I Gusti. 2014. “Pengaruh Ekstrak Daun Mengkudu (*Morinda citrifolia* L) terhadap Pertumbuhan *Staphylococcus Aureus* sebagai Penyebab Abses Periodontal secara *in vitro*”**

**Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., dan Dewitt D.P. 2011. “Fundamentals of Heat and Mass Transfer Seventh Edition. John Wiley & sons, inc.”**

**EFSA (European Food Safety Authority), 2008. Safety of ‘leaves from *Morinda citrifolia* L.’ Scientific Opinion of the Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (Question No EFSA-Q-2006-185), the EFSA Journal (2008) 769, 1-17**

**Hidayati, Dian. 2013. “Tugas Akhir Uji Eksperimental Pengaruh Bukaian cerobong Pada Oven Terhadap Kecepatan Pengeringan Kerupuk Rengginang”**

**Nazar, Andrew J. 2015. “Analisis Perpindahan Panas Pada Oven Untuk Proses Pengeringan Jamur Tiram”**

**Nelson, Scot C. 2006. “Species Profiles for Pacific Island Agroforestry *Morinda Citrifolia* (Noni)”**

**Pritchard, Philip J. 2011. “Fox and McDonald’s Introduction to Fluid Mechanics 8th Edition. John Wiley & sons, inc.”**

**Tresna Yuliaty, Siska. 2015. “Pengaruh Lama Pengeringan dan Konsentrasi Maltodekstrin terhadap Karakteristik Fisik Kimia dan Organoleptik Minuman Instan Daun Mengkudu (*Morinda citrifolia* L)”**

# Lampiran 1

Tabel Konversi Satuan

<i>Parameter</i>	<i>English Unit</i>	<i>Metric Unit</i>
Area	1 in <sup>2</sup>	6.452 cm <sup>2</sup>
	1 ft <sup>2</sup>	0.0929 m <sup>2</sup>
Density	1 slug/ft <sup>3</sup>	515 kg/m <sup>3</sup>
Energy	1 ft · lb	1.356 J
Flow-rate	1 ft <sup>3</sup> /s	0.0284 m <sup>3</sup> /s
	1 gpm	0.06309 Lps
Force	1 lb	4.448 N
Length	1 ft	0.3048 m
	1 in	2.540 cm
Mass	1 slug	14.59 kg
Power	1 ft · lb/s	1.356 W
	1 hp	745.7 W
	1 Btu/min	0.0176 kW
	1 psi	6895 Pa
Pressure	1 psi	0.06895 bars
	1 standard atmosphere (14.7 psia)	101.3 kPa abs
Specific weight	1 lb/ft <sup>3</sup>	157 N/m <sup>3</sup>
Velocity	1 ft/s	0.3048 m/s
Viscosity (absolute)	1 lb · s/ft <sup>2</sup>	47.88 Pa · s
<i>Parameter</i>	<i>English Unit</i>	<i>Metric Unit</i>
Viscosity (kinematic)	1 ft <sup>2</sup> /s	0.0929 m <sup>2</sup> /s
Volume	1 in <sup>3</sup>	16.39 cm <sup>3</sup>
	1 gal	3.785 L
<i>Parameter</i>	<i>First English Unit</i>	<i>Second English Unit</i>
Energy	1 Btu	778 ft · lb
Flow-rate	1 ft <sup>3</sup> /s	449 gpm
	1 hp	550 ft · lb/s
Power	1 hp	42.4 Btu/min
	1 rpm	0.1047 rad/s
Velocity (angular)	1 rpm	0.1047 rad/s
Volume	1 gal	231 in <sup>3</sup>
	1 gal	0.135 ft <sup>3</sup>

<i>Parameter</i>	<i>First Metric Unit</i>	<i>Second Metric Unit</i>
Force	1 N	10 <sup>5</sup> dyn
Pressure	1 bar	10 <sup>5</sup> Pa
Velocity (ang.)	1 rpm	0.1047 rad/s
Viscosity (abs.)	1 N · s/m <sup>2</sup>	10 poise
	1 poise	1 dyn · s/cm <sup>2</sup>
Viscosity (kin.)	1 m <sup>2</sup> /s	10,000 stokes
	1 stoke	1 cm <sup>2</sup> /s
Volume	1 m <sup>3</sup>	1000 L
	1 cm <sup>3</sup>	0.001 L

*Temperature Conversions*

$$T(^{\circ}\text{F}) = 1.8 T(^{\circ}\text{C}) + 32 \quad T(^{\circ}\text{C}) = \frac{T(^{\circ}\text{F}) - 32}{1.8}$$

$$T(^{\circ}\text{R}) = 1.8 T(\text{K}) \quad T(\text{K}) = \frac{T(^{\circ}\text{R})}{1.8}$$

$$T(^{\circ}\text{R}) = T(^{\circ}\text{F}) + 460 \quad T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273$$



Lampiran 2

TABLE A.1 Thermophysical Properties of Selected Metallic Solids<sup>a</sup>

Composition	Melting Point (K)	Properties at Various Temperatures (K)														
		Properties at 300 K					$k$ (W/m·K)/ $c_p$ (J/kg·K)									
		$\rho$	$c_p$	$k$	$\alpha \cdot 10^6$	100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	
		(kg/m³)	(J/kg·K)	(W/m·K)	(m²/s)											
Aluminum																
Pure	933	2702	903	237	97.1	302	237	240	231	218						
Alloy 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2770	875	177	73.0	482	798	949	1033	1146						
						65	163	186	186							
Alloy 195, Cast (4.5% Cu)		2790	883	168	68.2			174	185							
Beryllium	1550	1850	1825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8	78.7				
						203	1114	2191	2604	2823	3018	3227	3519			
Bismuth	545	9780	122	7.86	6.59	16.5	9.69	7.04								
						112	120	127								
Boron	2573	2500	1107	27.0	9.76	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85					
						128	600	1463	1892	2160	2338					
Cadmium	594	8650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7								
						198	222	242								
Chromium	2118	7160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4	61.9	57.2	49.4		
						192	384	484	542	581	616	682	779	937		
Cobalt	1769	8862	421	99.2	26.6	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1	49.3	42.5			
						236	379	450	503	550	628	733	674			
Copper																
Pure	1358	8933	385	401	117	482	413	393	379	366	352	339				
						252	356	397	417	433	451	480				
Commercial bronze (90% Cu, 10% Al)	1293	8800	420	52	14		42	52	59							
Phosphor gear bronze (89% Cu, 11% Sn)	1104	8780	355	54	17		785	460	545							
						41	65	74								
Cartridge brass (70% Cu, 30% Zn)	1188	8530	380	110	33.9	75	95	137	149							
							360	395	425							
Constantan (55% Cu, 45% Ni)	1493	8920	384	23	6.71	17	19									
						237	362									
Germanium	1211	5360	322	59.9	34.7	232	96.8	43.2	27.3	19.8	17.4	17.4				
						190	290	337	348	357	375	395				

## Lampiran 3

### Appendix A ■ Thermophysical Properties of Matter

**TABLE A.3** Continued

#### Insulating Materials and Systems

Description/Composition	Typical Properties at 300 K		
	Density, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Thermal Conductivity, $k$ (W/m·K)	Specific Heat, $c_p$ (J/kg·K)
<b>Blanket and Batt</b>			
Glass fiber, paper faced	16	0.046	—
	28	0.038	—
	40	0.035	—
Glass fiber, coated; duct liner	32	0.038	835
<b>Board and Slab</b>			
Cellular glass	145	0.058	1000
Glass fiber, organic bonded	105	0.036	795
Polystyrene, expanded			
Extruded (R-12)	55	0.027	1210
Molded beads	16	0.040	1210
Mineral fiberboard; roofing material	265	0.049	—
Wood, shredded/cemented	350	0.087	1590
Cork	120	0.039	1800
<b>Loose Fill</b>			
Cork, granulated	160	0.045	—
Diatomaceous silica, coarse	350	0.069	—
Powder	400	0.091	—
Diatomaceous silica, fine powder	200	0.052	—
	275	0.061	—
Glass fiber, poured or blown	16	0.043	835
Vermiculite, flakes	80	0.068	835
	160	0.063	1000
<b>Formed/Foamed-in-Place</b>			
Mineral wool granules with asbestos/inorganic binders, sprayed	190	0.046	—
Polyvinyl acetate cork mastic; sprayed or troweled	—	0.100	—
Urethane, two-part mixture; rigid foam	70	0.026	1045
<b>Reflective</b>			
Aluminum foil separating fluffy glass mats; 10–12 layers; evacuated; for cryogenic applications (150 K)	40	0.00016	—
Aluminum foil and glass paper laminate; 75–150 layers; evacuated; for cryogenic application (150 K)	120	0.000017	—
Typical silica powder, evacuated	160	0.0017	—

## Lampiran 4

**TABLE A.4** Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure\*

$T$ (K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^7$ (N·s/m <sup>2</sup> )	$\nu \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$Pr$
Air, $M = 28.97$ kg/kmol							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	257	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536
Ammonia (NH <sub>3</sub> ), $M = 17.03$ kg/kmol							
300	0.6894	2.158	101.5	14.7	24.7	16.6	0.887
320	0.6448	2.170	109	16.9	27.2	19.4	0.870
340	0.6059	2.192	116.5	19.2	29.3	22.1	0.872
360	0.5716	2.221	124	21.7	31.6	24.9	0.872
380	0.5410	2.254	131	24.2	34.0	27.9	0.869

Lampiran 5

TABLE A.6 Thermophysical Properties of Saturated Water<sup>a</sup>

Temperature, <i>T</i> (K)	Pressure, <i>p</i> (bars) <sup>b</sup>	Specific Volume (m <sup>3</sup> /kg)		Heat of Vapor- ization, <i>h<sub>fg</sub></i> (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg · K)		Viscosity (N · s/m <sup>2</sup> )		Thermal Conductivity (W/m · K)		Prandtl Number		Surface Tension, <i>σ<sub>f</sub></i> · 10 <sup>3</sup> (N/m)	Expansion Coeffi- cient, <i>β<sub>f</sub></i> · 10 <sup>6</sup> (K <sup>-1</sup> )	Temperature, <i>T</i> (K)
		<i>v<sub>f</sub></i> · 10 <sup>3</sup>	<i>v<sub>g</sub></i>		<i>c<sub>p,f</sub></i>	<i>c<sub>p,g</sub></i>	<i>μ<sub>f</sub></i> · 10 <sup>6</sup>	<i>μ<sub>g</sub></i> · 10 <sup>6</sup>	<i>k<sub>f</sub></i> · 10 <sup>3</sup>	<i>k<sub>g</sub></i> · 10 <sup>3</sup>	<i>Pr<sub>f</sub></i>	<i>Pr<sub>g</sub></i>			
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	≈68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	≈32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	664	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	697.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385
390	1.794	1.058	0.980	2212	4.239	2.104	237	12.69	686	26.3	1.47	1.013	55.6	841	390
400	2.455	1.067	0.731	2183	4.256	2.158	217	13.05	688	27.2	1.34	1.033	53.6	896	400
410	3.302	1.077	0.553	2153	4.278	2.221	200	13.42	688	28.2	1.24	1.054	51.5	952	410
420	4.370	1.088	0.425	2123	4.302	2.291	185	13.79	688	29.8	1.16	1.075	49.4	1010	420
430	5.699	1.099	0.331	2091	4.331	2.369	173	14.14	685	30.4	1.09	1.10	47.2		430

# Lampiran 6

**Table 1.1** Biofuel properties compared to petroleum-based fuels

Fuel	LHV (MJ kg <sup>-1</sup> )	(API) <sub>60</sub>	Oxygen content (% by mass)	Latent heat of vaporization (kJ kg <sup>-1</sup> )	RVP (kPa)	Cetane rating	Octane rating	
							RON	MON
Gasoline	42.7–44.0	14.6	0	350–356	48–103	—	91–99	82–90
Methane	49.9	17.2	0	507	—	—	130	130
Natural gas	44.8	16.2	0	—	—	—	> 120	120–127
LPG	46.0	15.8	0	428	—	—	104	89
Propane	46.2	15.7	0	423	1434	—	112	97
Methanol	19.9	6.5	50.0	1103–1186	32	3	106–112	91–92
Ethanol	26.9	9.0	34.8	842	22	8	107–111	89–92
1-Butanol	33.1	11.1	21.6	585	2.3	25	96	78
Hydrogen	119.4	34.3	0	—	—	—	n.a.	n.a.
Light diesel	43.2	14.5	0	270–286	—	—	40–65	—
Heavy diesel	42.8	14.4	0	230	—	—	40–65	—
Soybean BD	37–39.8	12.5	10.8	320	—	—	46.2–51	—
Rapeseed BD	37.3	12.7	9.9	320	—	—	52.9	—
Canola BD	40.1	12.5	10.8	325	—	—	49.6	—
Sunflower BD	38.1–38.6	12.2	11.4	320	—	—	49	—
Palm BD	37.8	12.5	11.3	313	—	—	50–62	—
Cottonseed BD	38.9	12.7	11.4	325	—	—	51.2	—
Tallow BD	39.9	12.5	11.3	313	—	—	58	—

(API)<sub>60</sub>: Stoichiometric air/fuel ratio; BD: Biodiesel; LHV: Lower heating value; RVP: Reid vapor pressure; LPG: Liquefied petroleum gas; Cetane Rating is an estimation of ignition quality; Octane rating is also known as antiknock index or octane number. The values of these properties were assembled from data in Refs [7–19].

## Lampiran 7

Table 1. Compositional data on raw *M. citrifolia* L. leaves (Leung et al., 1972)

Constituent	per 100 g
Water (g)	93.7
Protein (g)	1
Fat (g)	0.2
Carbohydrate (g)	4.4
Fiber (g)	1.1
Ash (g)	0.7
Calcium (mg)	58
Phosphorus (mg)	93
Iron (mg)	4.4
beta-Carotene (mg)	0.3
Riboflavin (mg)	0.07
Niacin (mg)	5.6
Ascorbic acid (mg)	50

## Lampiran 8

Table 2. Compositions of dried and roasted *M. citrifolia* leaves from French Polynesia for infusion

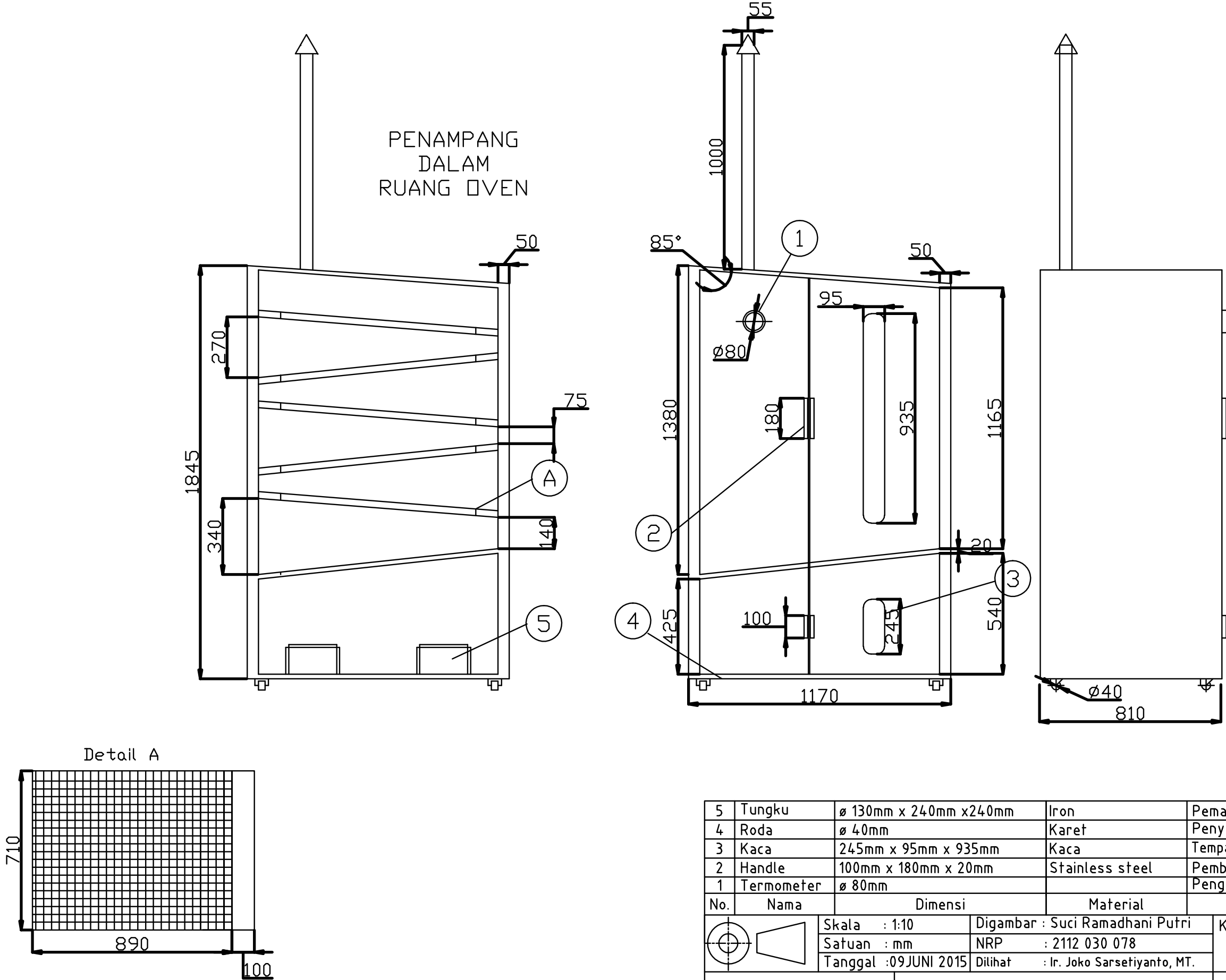
Parameter	Mean	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Number of batches analysed
Protein (g/100g)	19.1	1.08	17.1	20.0	8
Moisture (g/100g)	3.2	1.35	0.8	5.2	8
Fat (g/100g)	4.9	1.48	3.9	8.3	8
Ash (g/100g)	11.8	0.93	10.8	13.0	8
Carbohydrate (g/100 g)	60.7	2.2	55.5	62.7	8
Calories per 100g	363	7.64	353	376	8
Dietary Fiber (g/100 g)	45	3.10	40.7	47.5	4
$\beta$ -Carotene (mg/100g)	2.9	3.17	0.47	9.70	7
Vitamin C (mg/100g)	< 1	-	< 1	1.20	7
Riboflavin (mg/100g)	1.22	0.25	0.97	1.46	3
Niacin (mg/100g)	4.35	1.08	3.17	5.30	3
Fe (mg/100g)	14.2	3.47	9.1	16.5	4
Ca (mg/100g)	2065	113	1950	2220	4
K (mg/100g)	2275	364	1770	2620	4
Na (mg/100g)	537	161	367	755	5
Mg (mg/100g)	672	78	565	742	4
Zn (mg/100g)	5.1	0.8	4.3	6.3	5
Cu (mg/100g)	0.6	0.05	0.5	0.7	4
Mn (mg/100g)	10.2	0.7	9.4	11.0	4
P (mg/100g)	348	21	327	374	4
Oxalic Acid (g/100g)	0.09	0.04	< 0.05	0.14	7
Tannic Acid (g/100g)	2.6	0.1	2.4	2.7	4

## Lampiran 9

Table 3. Ranges of amino acids in dried and roasted *M. citrifolia* leaves

Amino Acid	Range (mg/ 100 g)
Aspartic Acid	1500-1750
Threonine	550-750
Serine	550-750
Glutamic Acid	1450-1675
Proline	600-850
Glycine	700-950
Alanine	750-950
Cysteine	100-300
Valine	700-950
Methionine	100-250
Isoleucine	550-750
Leucine	1150-1350
Tyrosine	400-600
Phenylalanine	700-900
Histidine	200-375
Lysine	200-350
Arginine	500-750
Tryptophane	150-350





## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Jember, 28 Januari 1993, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di beberapa institusi pendidikan yaitu SDN Dringu 1 Probolinggo, SDN Dukuh Menanggal 2 Surabaya, SDPWKS 2 Cilegon, SMPN 1 Cilegon, SMPN 22 Surabaya, SMAN 18 Surabaya. Setelah lulus dari SMAN tahun 2011, Penulis melanjutkan pendidikannya di Universitas Negeri Malang Jurusan Psikologi, namun pada tahun 2012

penulis mengubah haluan dan masuk di D3 Teknik Mesin FTI-ITS. Penulis banyak mengikuti beberapa pelatihan selama berada di kampus ITS misalnya LKMM Pra-TD FTI-ITS 2012, LKMM TD HMDM FTI-ITS 2013, Platjurdas HMDM FTI-ITS 2013, dan lain-lain. Selain pelatihan, penulis juga aktif dalam organisasi yaitu staff PSDM BEM ITS 2013/2014, staff PSDM HMDM FTI-ITS 2013/2014 dan sebagai pengurus himpunan tahun kepengurusan 2014/2015 sebagai Wakil Ketua I HMDM FTI-ITS. Penulis mengerjakan tugas akhir ini selama kurang lebih 5 bulan pada semester enam atau akhir pendidikan di D3 Teknik Mesin FTI-ITS. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi banyak orang untuk kedepannya.